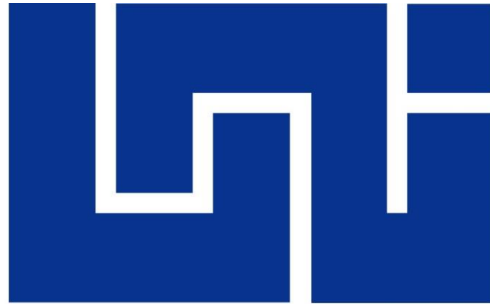


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN



Líder en Ciencia y Tecnología

Trabajo Monográfico Para Optar al Título de Ingeniero Electrónico

***EVALUACIÓN DE RADIACIONES NO-IONIZANTES EMITIDAS POR SISTEMAS DE
RADIODIFUSIÓN FM Y TELEVISIÓN ABIERTA EN EL MUNICIPIO EL CRUCERO***

Autores:

- Br. Julio César Cruz Icabalzeta 2010-32690
- Br. Gabriel Eduardo Delgadillo Fernández 2010-33104

Tutor:

- MsC. Ing. Óscar Napoleón Martínez Zapata

Managua, Nicaragua Abril 2016



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Cruceiro

Para mis padres y mi país, a los cuales espero contribuir y enorgullecer continuamente como hijo.

Julio Cruz Icabalzeta

Dedico este trabajo a mis padres, a mis seres amados, y a mi país.

Gabriel Delgadillo Fernández

Para Medardo.



AGRADECIMIENTOS

A Jehová, por permitirme vivir plenamente, hasta el día de hoy, la vida.

A mis padres, por su apoyo y amor incondicional. Mejores ejemplos de esfuerzo, deseos de superación y honradez no existen para mí.

A mis amigos de la universidad, por contribuir a la persona que soy hoy con su amistad y compañerismo dentro y fuera del aula de clases.

A los distintos profesores que me han enseñado en la carrera, pero en especial a Alejandro Méndez, Carlos Ortega y Leonardo Aguirre, por ser ejemplos a seguir como profesionales, docentes y amigos.

Eternamente agradecido.

Julio Cruz Icabalzeta

A mis padres, por su entrega y sus inquebrantables deseos de imprimir en mí su amor y esperanzas.

A mi familia, por que dentro de mí es espíritu de superación, esfuerzo y perseverancia.

A mis amigos, por colmarme de experiencias que completan mi persona, y por brindarme su buen ánimo.

Gabriel Delgadillo Fernández

A nuestro tutor Oscar Napoleón Martínez, por sus correcciones y apoyo.

Al Dr. Marvin Sánchez, por su guía, sabiduría y objetividad.

Al Ing. Juan Carlos Morales, y al personal del DCAMER, por su constante apoyo y el tiempo brindado.

Al Dr. Branislav Vulevic, por su gesto humanitario de apoyar a estudiantes.

J. Cruz y G. Delgadillo



RESUMEN

Los seres humanos siempre han estado expuestos a campos electromagnéticos ya que estos están presentes en la naturaleza. Sin embargo, el desarrollo tecnológico, sobre todo en los servicios de telecomunicaciones, ha resultado en un incremento de la exposición humana a los campos electromagnéticos generados por fuentes artificiales, causando la preocupación pública por los posibles efectos en la salud humana y del medio ambiente. El objetivo de este trabajo es proporcionar una guía que permita evaluar los niveles de Radiación No-Ionizante (RNI) emitidos por los sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta instalados en el municipio El Crucero, empleando los equipos disponibles en las unidades móviles de monitoreo del Ente Regulador del Estado de Nicaragua para telecomunicaciones, Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCEL), guía actualmente inexistente. Estas unidades móviles, equipadas con un Receptor Digital ESMB, Antena ADD-190 y Software ArgusMon 4.3, fueron puestas a disposición para esta investigación, junto con el personal de la Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico (DCAMER-TELCEL), para la realización de campañas de medición RNI en 11 puntos seleccionados del municipio de El Crucero, departamento de Managua, lugar en el que 44 operadores de radiodifusión sonora en FM y Televisión Abierta transmiten simultáneamente cercano a áreas pobladas. Los resultados de las mediciones muestran que la exposición a estas emisiones no supera el 1% de los límites de exposición para el público en general de la ICNIRP en 7 puntos, y el 5% en el resto. Esta guía de evaluación provisional se espera pueda ser replicada en campañas similares donde sea necesario, para verificar el cumplimiento de los límites de exposición.

ABSTRACT

Humans have always been exposed to electromagnetic fields since these are present in nature. However, technological development, particularly in telecommunications services, has increased human exposure to EMFs generated by artificial sources, causing public concern about its possible effects in human and environmental health. The aim of this work is to provide an evaluation guide for the State of Nicaragua telecommunications regulator Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCEL) to assess the Non-Ionizing Radiation (NIR) levels emitted by FM Broadcasting and Free-To-Air TV systems installed in the municipality of El Crucero, using measurement equipment available in its mobile monitoring units, guide currently non-existent. These mobile units, each equipped with a ESMB Monitoring Receiver, Antenna ADD-190 and Software ArgusMon 4.3, were made available for this investigation, alongside the personnel of Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico (DCAMER-TELCEL) for NIR measurement campaigns performed in 11 selected points of the municipality El Crucero, department of Managua, place where 44 FM Radio and TV Broadcasting operators simultaneously transmit nearby populated areas. The measurements results show that the exposition to these emissions does not exceed 1% of ICNIRP's general public exposure limits in 7 points, and 5% on the rest. This provisional evaluation guide is hoped to be replicated in similar campaigns where necessary to verify compliance of exposure limits.



Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1 Los Campo Electromagnéticos y las RNI	1
1.2 RNI y la Salud Humana.....	3
1.3 Nicaragua y las RNI	6
1.4 Planteamiento del Problema	7
1.5 Justificación	8
1.6 Objetivos.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
1.7 Contribución de la Monografía.....	9
1.8 Estructura de Contenido.....	10
2. Exposición Humana a RNI	11
2.1 Protección a RNI: ICNIRP	11
2.2 Coeficiente de Exposición Total.....	13
3. Nicaragua y las Telecomunicaciones	15
3.1 Ente Regulador de Telecomunicaciones TELCOR	15
3.2 Sistemas de Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta en Nicaragua.....	17
4. Evaluación de Exposición a CEM	25
4.1 Métodos de Cálculo	28
4.1.1 Modelos de Cálculo	28
4.2 Métodos de Medición	30
4.2.1 Instrumentación Método de Medición en Banda Ancha	31
4.2.2 Instrumentación Método de Medición en Frecuencia Selectiva.....	32
4.2.3 Estaciones de Monitoreo Continuo	34
4.2.4 Método de Medición por Sondeo Vertical	35
4.3 Resumen	35
5. Equipos de Medición Utilizados	37
5.1 Receptor: R&S®ESMB Monitoring Receiver	38
5.2 Antena: R&S®DF Antenna ADD 190.....	40
5.3 Selector de Antena: R&S®ZS 127	41
5.4 Software Controlador: R&S® Argus Mon 4.3.....	41



6. Guía de Medición de CEM	43
6.1 Análisis del Sitio	45
6.1.1 Análisis del Sitio de Medición El Crucero.....	45
6.2 Identificación de las Fuentes	45
6.2.1 Identificación de Fuentes en El Crucero	46
6.3 Determinación del Método de Medición	51
6.3.1 Método de Medición Seleccionado para El Crucero	52
6.4 Determinación de la Cantidad a Medir	53
6.4.1 Cantidad a Medir Seleccionada para El Crucero	53
6.5 Selección del Equipo de Medición.....	53
6.5.1 Requerimientos del Sistema de Medición en Frecuencia Selectiva	54
6.6 Mediciones	54
6.6.1 Selección de Puntos de Investigación.....	54
6.6.1.1 Selección de Puntos de Investigación en El Crucero	55
6.6.2 Procedimiento de Medición	58
6.6.2.1 Generalidades.....	58
6.6.2.2 Posición de los Instrumentos.....	59
6.6.2.3 Promediación.....	59
6.6.2.3.1 Promediado Espacial	59
6.6.2.3.2 Promediado en Tiempo	60
6.6.2.4 Ajuste del Equipo de Medición: Parámetros a Ingresar	60
6.6.2.5 Procedimiento de medición en frecuencia selectiva con equipos en unidades móviles de TELCOR.....	60
6.7 Post-procesamiento de las Mediciones.....	66
6.7.1 Extrapolación	66
6.7.2 Incertidumbre en las mediciones	66
7. Tratamiento Posterior de Datos de Medición Recolectados	68
7.1 Datos de Medición Recolectados	68
7.2 Definiciones y Estimaciones Previas.....	69
7.3 Tratamiento Posterior de Resultados de Medición.....	71
7.3.1 Conversión a Escala Lineal	72
7.3.2 Promediación en tiempo de niveles en frecuencias individuales.....	73
7.3.3 Cálculo de Exposición Total	74
7.3.3.1 Ejemplo de Cálculo del Coeficiente de Exposición Total	75
7.3.4 Representación gráfica de los datos recolectados	76



7.4	Análisis de Resultados	77
7.4.1	Puntos con Mayores Niveles RNI	79
8.	Incertidumbre en las Mediciones de CEM	80
8.1	Pasos para establecer un presupuesto de incertidumbre.....	80
8.1.1	Selección de las Contribuciones de Incertidumbre	81
8.1.2	Incertidumbre Estándar	81
8.1.3	Incertidumbre Estándar Combinada	81
8.1.4	Incertidumbre Expandida	81
8.1.4.1	Reducción de los Valores Límites por el Margen de Incertidumbre	82
8.1.5	Componentes de Incertidumbre Consideradas.....	82
8.2	Ejemplo de Cálculo de Presupuesto de Incertidumbre	84
8.3	Presupuesto de incertidumbre de las mediciones	85
9.	Conclusiones.....	88
10.	Bibliografía	92

ANEXOS:

A.	Puntos de Investigación Seleccionados y Resultados de Medición.....	I
B.	Procedimiento de Medición con Software Argus Mon 4.3.....	XVI
C.	Lista de operadores de radiodifusión sonora y televisión abierta con transmisores principales instalados en El Crucero.....	XXVI



LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Espectro electromagnético.</i>	2
<i>Figura 1.2 Evaluación de los riesgos asociados con los CEM.</i>	5
<i>Figura 3.1 Comparación Alturas sobre el Nivel del Mar Municipios Managua, Ticuantepe y El Crucero</i>	20
<i>Figura 3.2 División Interna Municipio El Crucero.</i>	21
<i>Figura 3.3 Barrios del Casco Urbano El Crucero.</i>	22
<i>Figura 4.1 Ilustración de las Zonas de Exposición.</i>	25
<i>Figura 4.2 Descripción general para el procedimiento de evaluación de la exposición.</i>	26
<i>Figura 4.3 Regiones de campo alrededor de una fuente CEM.</i>	27
<i>Figura 4.4 Ilustración de escenario con múltiples fuentes RF.</i>	29
<i>Figura 4.5 Ilustración de fuente RF compuesta por múltiples radiadores.</i>	30
<i>Figura 4.6 Sonda Isotrópica, compuesta por un conjunto de dipolos cortos.</i>	32
<i>Figura 4.7 Antena triaxial de monopolos cortos.</i>	33
<i>Figura 4.8 Diagrama del sistema de medición en frecuencia selectiva, incluyendo un controlador externo.</i>	33
<i>Figura 4.9 Diagrama de bloques del procedimiento de evaluación de exposición.</i>	36
<i>Figura 5.1 a) Interior de una estación móvil de comprobación técnica. b) Ejemplos de estaciones móviles de comprobación técnica.</i>	37
<i>Figura 5.2. Receptor de monitoreo R&S®ESMB.</i>	38
<i>Figura 5.3 Diagrama de bloques del Receptor de Monitoreo R&S®ESMB.</i>	39
<i>Figura 5.4 a) Antena goniométrica ADD 190 abierta. b) Antena ADD 190 instalada en el techo una unidad móvil de comprobación técnica.</i>	40
<i>Figura 5.5 Switch selector de antena R&S®ZS 127.</i>	41
<i>Figura 5.6 Diagrama de interconexión de los dispositivos y el software controlador</i>	41
<i>Figura 6.1 Rutas Alternativas para la determinación In-Situ de CEM para la evaluación de exposición humana.</i>	44
<i>Figura 6.2 Punto céntrico donde se realizó la verificación rápida por escaneo de frecuencia selectiva para la identificación de fuentes (11°59'31.34"N, 86°18'32.43"W).</i>	47
<i>Figura 6.3 Escaneo de frecuencias de 40 MHz a 215 MHz abarcando los Canales de TV 2, 4 y 6; el rango de frecuencias de radiodifusión FM y los Canales 8, 10 y 12.</i>	47
<i>Figura 6.4 Escaneo de frecuencias de 50 MHz a 89 MHz abarcando los Canales de TV 2, 4 y 6 con sus portadoras de audio y video.</i>	48
<i>Figura 6.5 Escaneo de frecuencias de 88 MHz a 110 MHz abarcando las frecuencias de radiodifusión FM con sus portadoras de audio.</i>	48
<i>Figura 6.6 Escaneo de frecuencias de 175 MHz a 212 MHz abarcando los Canales de TV 8, 10 y 12 con sus portadoras de audio y video.</i>	49
<i>Figura 6.7 Escaneo de frecuencias de 450 MHz a 530 MHz abarcando los Canales de TV 14 y 21 con sus portadoras de audio y video.</i>	49
<i>Figura 6.8 Localización de fuentes pertinentes en El Crucero.</i>	51
<i>Figura 6.9 Puntos de Medición Casco Urbano El Crucero.</i>	57
<i>Figura 6.10 Puntos de Medición Casco Urbano y Comarca El Crucero.</i>	58
<i>Figura 6.11 Puntos de Medición para Promedido Espacial</i>	59
<i>Figura 6.12 Procedimiento general de medición de RNI con estaciones móviles de comprobación técnica de TELCOR.</i>	61
<i>Figura 6.13 Rutina de la medición por rastreo lista de frecuencias.</i>	62
<i>Figura 7.1 Fragmento de resultados de medición por rastreo de lista de frecuencias utilizando la lista de frecuencias de TV.</i>	69
<i>Figura 7.2 Procedimiento de tratamiento posterior de datos de medición obtenidos de mediciones por rastreo de lista de frecuencias.</i>	71



<i>Figura 7.3 Análisis de una frecuencia individual en amplitud y tiempo.</i>	76
<i>Figura 7.4 Análisis de los resultados en amplitud, frecuencia y tiempo.</i>	76
<i>Figura 8.1 Pasos para establecer un presupuesto de incertidumbre.</i>	80
<i>Figura A.1 Punto 1: Barrio Carlos Fonseca</i>	92
<i>Figura A.2 Punto 2: Barrio El Chozizo</i>	92
<i>Figura A.3 Punto 3: Barrio Luis Alfonso Velázquez</i>	92
<i>Figura A.4 Punto 4: Barrio Luis Alfonso Velázquez</i>	93
<i>Figura A.5 Punto 5: Barrio Edgar Lang</i>	93
<i>Figura A.6 Punto 6: Barrio Jonathan González</i>	93
<i>Figura A.7 Punto 7: Barrio Edgar Lang</i>	93
<i>Figura A.8 Punto 8: Barrio Juan José Quezada.</i>	94
<i>Figura A.9 Punto 9: Carretera El Crucero-Las Nubes.</i>	94
<i>Figura A.10 Punto 10: Mirador Las Nubes.</i>	94
<i>Figura A.11 Punto 11: Las Nubes.</i>	94
<i>Figura A.12 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Carlos Fonseca.</i>	95
<i>Figura A.13 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio El Chozizo.</i>	96
<i>Figura A.14 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Luis Alfonso Velázquez.</i>	97
<i>Figura A.15 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Luis Alfonso Velázquez.</i>	98
<i>Figura A.16 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Edgar Lang.</i>	99
<i>Figura A.17 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Jonathan González.</i>	100
<i>Figura A.18 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Edgar Lang.</i>	101
<i>Figura A.19 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Juan José Quezada.</i>	102
<i>Figura A.20 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en la Carretera El Crucero-Las Nubes.</i>	103
<i>Figura A.21 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Mirador Las Nubes.</i>	104
<i>Figura A.22 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en Las Nubes.</i>	105
<i>Figura B.1 Menú Navegador R&S ARGUS.</i>	107
<i>Figura B.2 Archivo de Definición del Rango de Medición.</i>	108
<i>Figura B.3 Selección de Ruta de Sistema – Dispositivos a Utilizar.</i>	108
<i>Figura B.4 Visualización de Parámetros de Antena Seleccionada.</i>	109
<i>Figura B.5 Visualización de Ruta de Sistema en Panel de Control Virtual.</i>	109
<i>Figura B.6 Archivo de Definición de Medición.</i>	111
<i>Figura B.7 Selección de Parámetro de Medición.</i>	111
<i>Figura B.8 Archivo de Definición del Horario de Medición.</i>	112
<i>Figura B.9 Archivo de Configuración de la función de Rastreo por Lista de Frecuencias.</i>	113
<i>Figura B.10 Ventana de visualización del Modo de Medición Automático.</i>	114
<i>Figura B.11 Inicio del Proceso de Medición Automática.</i>	114
<i>Figura B.12 Finalización del Proceso de Medición Automática.</i>	115
<i>Figura B.13 Ejemplo de Resultados de Medición.</i>	116
<i>Figura B.14 Ejemplo de Representación Gráfica de Resultados de Medición.</i>	116



LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Tipos de radiación electromagnética según su interacción con la materia.</i>	2
<i>Tabla 2.1 Descripción de los Límites de Exposición.</i>	11
<i>Tabla 2.2 Niveles de Referencia para Exposición Poblacional a Campos Eléctricos y Magnéticos (valores rms no perturbados).</i>	12
<i>Tabla 2.3 Coeficiente de Exposición Total para Niveles de Referencia.</i>	13
<i>Tabla 3.1 Descripción Básica Sistema Nacional de Control y Gestión del Espectro Radioeléctrico.</i>	16
<i>Tabla 3.2 Normativas técnicas regulatorias para la Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta.</i>	17
<i>Tabla 3.3 Clasificación Estaciones Radio FM.</i>	18
<i>Tabla 3.4 Clasificación Estaciones de TV Abierta.</i>	19
<i>Tabla 3.5 Potencias Máximas Estaciones de Televisión.</i>	19
<i>Tabla 3.6 Contornos de Intensidad de Campo.</i>	19
<i>Tabla 3.7 Potencias Máximas según clase de instalación, y canal de servicio.</i>	20
<i>Tabla 3.8 Áreas de Comarcas y Barrios del municipio El Crucero</i>	23
<i>Tabla 3.9 Superficie, Población y Densidad de Población por Barrios</i>	24
<i>Tabla 4.1 Zonas de Exposición debido a una Fuente.</i>	25
<i>Tabla 4.2 Propiedades del CEM en las diferentes regiones de campo.</i>	27
<i>Tabla 4.3 Selección de Técnicas Numéricas.</i>	29
<i>Tabla 4.4 Métodos de Medición.</i>	31
<i>Tabla 4.5 Componentes del sistema de medición.</i>	31
<i>Tabla 4.6 Instrumentación para medición en banda ancha.</i>	32
<i>Tabla 4.7 Instrumentación para medición en frecuencia selectiva.</i>	33
<i>Tabla 4.8 Comparación entre Medición Banda Ancha y Frecuencia Selectiva.</i>	34
<i>Tabla 4.9 Equipos en vehículo especial para medición por sondeo vertical.</i>	35
<i>Tabla 5.1 Descripción básica de equipos en unidades móviles de monitoreo.</i>	37
<i>Tabla 5.2 Características técnicas del Receptor de Monitoreo R&S®ESMB.</i>	39
<i>Tabla 5.3 Características técnicas de antena R&S®DF ADD 190.</i>	40
<i>Tabla 6.1 Métodos de Identificación de Fuentes</i>	45
<i>Tabla 6.2 Operadores FM</i>	50
<i>Tabla 6.3 Operadores TV</i>	51
<i>Tabla 6.4. Escenarios típicos de evaluación y caso de medición correspondiente según objetivos de la evaluación.</i>	52
<i>Tabla 6.5 Determinación del caso de evaluación en El Crucero.</i>	52
<i>Tabla 6.6 Cantidades a medir en diferentes distancias de las estaciones RF.</i>	53
<i>Tabla 6.7 Requerimientos del Sistema de Medición en Frecuencia Selectiva.</i>	54
<i>Tabla 6.8 Métodos de determinación de punto de máxima exposición.</i>	54
<i>Tabla 6.9 Puntos de investigación seleccionados.</i>	56
<i>Tabla 6.10 Anchuras de banda de medición necesarias según el servicio a medir.</i>	60
<i>Tabla 6.11 Listas de Frecuencia utilizadas en las mediciones.</i>	63
<i>Tabla 6.12 Parámetros de la medición.</i>	64
<i>Tabla 6.13 Parámetros de medición en rango de frecuencias de radiodifusión FM.</i>	64
<i>Tabla 6.14 Parámetros de medición en rango de frecuencias de teledifusión.</i>	64
<i>Tabla 6.15 Clasificación de las contribuciones de incertidumbre.</i>	66
<i>Tabla 6.16 Máximo error simulado debido a la influencia del cuerpo en los valores medidos con una sonda isotrópica.</i>	66
<i>Tabla 6.17 Incertidumbre a un 95% para modelo de desvanecimiento con muestras promediadas.</i>	67
<i>Tabla 7.1 Parámetros asociados al tratamiento de los datos.</i>	70
<i>Tabla 7.2 Presentación de resultados en hoja de cálculo y conversión de niveles a escala lineal.</i>	72



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

<i>Tabla 7.3 Disposición de resultados en formato horizontal y promediación de muestras medidas por frecuencia.</i>	74
<i>Tabla 7.4 Límites de referencia para el público en general aplicables para esta investigación.</i>	75
<i>Tabla 7.5 Límites de Referencia para frecuencias mayores a 400 MHz evaluadas en esta investigación.</i>	75
<i>Tabla 7.6 Ejemplo de datos medición para el cálculo demostrativo del coeficiente de exposición total.</i>	75
<i>Tabla 7.7 Niveles promedio de intensidad de campo eléctrico en todos los puntos y para todas las frecuencias evaluadas.</i>	77
<i>Tabla 7.8 Coeficientes de exposición total para todos los puntos de investigación.</i>	79
<i>Tabla 8.1 Componentes de Incertidumbre y su clasificación.</i>	82
<i>Tabla 8.2 Tabla de cálculo de presupuesto de Incertidumbre.</i>	83
<i>Tabla 8.3 Ejemplo de cálculo de presupuesto de Incertidumbre.</i>	84
<i>Tabla 8.4 Presupuesto de Incertidumbre de las Mediciones In-Situ realizadas</i>	86
<i>Tabla 9.1 Parámetros utilizados de las recomendaciones de la UIT y estándares para la guía de evaluación.</i>	89
<i>Tabla 9.2 Resultados de la evaluación de exposición a CEM en los puntos de investigación.</i>	90
<i>Tabla C.1 Frecuencias correspondientes a Canales de Televisión Abierta.</i>	117
<i>Tabla C.2 Identificación de los Canales de Radiodifusión FM.</i>	118
<i>Tabla C.3 Operadores de Radios FM en El Crucero.</i>	119
<i>Tabla C.4 Operadores de TV VHF en El Crucero.</i>	121
<i>Tabla C.5 Operadores de TV UHF en El Crucero.</i>	121
<i>Tabla C.6 Operadores que comparten torres en El Crucero.</i>	122



LISTA DE ACRÓNIMOS

<i>RNI</i>	<i>Radiaciones No-Ionizantes</i>
<i>CEM</i>	<i>Campo Electromagnético</i>
<i>Hz</i>	<i>Hertz</i>
<i>RF</i>	<i>Radio Frecuencias</i>
<i>OMS</i>	<i>Organización Mundial de la Salud</i>
<i>ONU</i>	<i>Organización de las Naciones Unidas</i>
<i>ICNIRP</i>	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
<i>UIT</i>	<i>Unión Internacional de Telecomunicaciones</i>
<i>TELCOR</i>	<i>Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos</i>
<i>AM</i>	<i>Amplitud Modulada</i>
<i>FM</i>	<i>Frecuencia Modulada</i>
<i>VHF</i>	<i>Very High Frequency</i>
<i>UHF</i>	<i>Ultra High Frequency</i>
<i>TV</i>	<i>Televisión</i>
<i>SAR</i>	<i>Specific Absorption Rate</i>
<i>RMS</i>	<i>Root Mean Square</i>
<i>DCAMER</i>	<i>Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico</i>
<i>CGC</i>	<i>Centro de Gestión y Control del Espectro Radioeléctrico</i>
<i>INIDE</i>	<i>Instituto Nicaragüense de Estadísticas</i>
<i>FDTD</i>	<i>Finite-Difference Time-Domain</i>
<i>MR/FDTD</i>	<i>Multiple-Region Finite-Difference Time-Domain</i>
<i>MOM</i>	<i>Method of Moments</i>
<i>NEC</i>	<i>Numeric Electromagnetic Code</i>
<i>EIRP</i>	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
<i>FI</i>	<i>Frecuencia Intermedia</i>
<i>RBW</i>	<i>Resolution Bandwidth</i>
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transform</i>
<i>T-DAB</i>	<i>Terrestrial Digital Audio Broadcasting</i>
<i>T-DMB</i>	<i>Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting</i>
<i>TETRA</i>	<i>Terrestrial Trunked Radio</i>
<i>GSM</i>	<i>Global System for Mobile communications</i>
<i>UMTS</i>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
<i>WiMax</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
<i>LTE</i>	<i>Long Term Evolution</i>
<i>CENELEC</i>	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization (por sus siglas en francés)</i>
<i>R&S</i>	<i>Rohde & Schwarz</i>
<i>AGC</i>	<i>Automatic Gain Control</i>



LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Ohmio
m	Metros
Hz	Hertz
A	Amperios
V	Voltio
W	Watts
A/m	Amperios sobre metros
A/m ²	Amperios sobre metros cuadrados
W/kg	Watts sobre kilogramos
W/m ²	Watts sobre metros cuadrados
V/m	Voltios sobre metros
T	Tesla
dB	Decibelio
dB μ V	Decibelios comparados con 1 μ V
f	Frecuencia
i	i-ésimo término
j	j-ésimo término
n	n-ésimo término
J	Densidad de Corriente
SAR	Tasa de Absorción Específica
S	Densidad de Potencia
\vec{E}	Intensidad de Campo Eléctrico
\vec{H}	Intensidad de Campo Magnético
B	Densidad de Flujo Magnético
S	Densidad de Potencia
W _t	Coefficiente de Exposición Total
J _i	Densidad de Corriente a la frecuencia i
J _{L,i}	Restricción Básica de Densidad de Corriente a la frecuencia i
SAR _i	SAR a la frecuencia i
SAR _L	SAR Límite
S _i	Densidad de Potencia a la frecuencia i
S _L	Densidad de Potencia límite
E _i	Intensidad de Campo Eléctrico a la frecuencia i
E _{L,i}	Nivel de Referencia de Intensidad de Campo Eléctrico a la frecuencia i
H _j	Intensidad de Campo de Magnético a la frecuencia i
H _{L,j}	Nivel de Referencia de Intensidad de Campo Magnético a la frecuencia i
Z ₀	Impedancia Intrínseca del Espacio Libre
D	Dimensión máxima de una antena
λ	Longitud de Onda
S _{eq}	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente
P	Potencia Media
G _i	Ganancia máxima de la antena de transmisión, respecto a un radiador isótropo
R	Distancia entre la fuente de radiación y el punto de interés
θ	Ángulo de Elevación del patrón de radiación de la antena
φ	Ángulo del Acimut del patrón de radiación de la antena
F(θ, φ)	Ganancia numérica relativa de la ganancia con respecto a un radiador isótropo
P _n	Potencia media entregada a la entrada del n-ésimo panel radiante o "parche"



r_n	Distancia entre el punto de interés y el centro del n-ésimo panel radiante o “parche”
γ_n	Fase relativa de tensión suministrada al n-ésimo panel radiante o “parche”
G_n	Ganancia del n-ésimo panel radiante o “parche” hacia el punto de interés, en relación a una antena isotrópica
S_{lim}	Valores límites de Densidad de Potencia
$f(\theta, \phi)$	Diagrama de radiación relativo de la antena
ρ	Valor absoluto del coeficiente de reflexión
R'	Distancia entre la imagen de la fuente de radiación y el punto de interés
σ	Conductividad de Tierra
T	Tiempo de Medición
N	Número de puntos seleccionados
t	Tiempo de Muestreo
Q	Cantidad de Ciclos de Medición
P	Período de Ciclo de Medición
m	Cantidad de Muestras por Frecuencia
n	Número total de muestras
$u(x_i)$	Incertidumbre estándar
c_i	Coficiente de Sensibilidad
$u_i(y)$	Incertidumbre Estándar de Salida
$u_c(y)$	Incertidumbre Combinada
U	Incertidumbre Expandida
k	Factor de Cobertura
X_{med}	Valor Medido
X_{lim}	Nivel de Referencia Aplicado
$S(R, \theta, \phi)$	Densidad de Potencia en términos de Distancia a la fuente y ángulos de la antena



LISTA DE SOFTWARE

1. *R&S Argus Mon 4.3*
2. *Microsoft Excel 2013*
3. *Google Earth Pro*
4. *Google maps*
5. *Microsoft Word 2013*



1. Introducción

Este capítulo introductorio proporciona información básica sobre las Radiaciones No-Ionizantes (RNI), explicando los efectos en la salud humana derivados de la exposición a estas y la importancia de su evaluación, así como una breve reseña legislativa e investigativa en Nicaragua en asuntos relacionados a RNI y antenas de telecomunicaciones.

1.1 Los Campo Electromagnéticos y las RNI

Un campo electromagnético (CEM) es un campo conformado por una componente eléctrica y otra magnética, originadas por el movimiento de una carga eléctrica. Debido a que los CEM transmiten energía a través del espacio en una dirección dada en forma de ondas, también se les conoce como radiación electromagnética.

Según su frecuencia (Hercios, Hz), las radiaciones electromagnéticas se clasifican en regiones dentro del espectro electromagnético, que es la distribución energética de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. De mayor a menor frecuencia, tenemos las siguientes regiones de radiación electromagnética:

- Radiación Gamma (> 12 EHz)
- Radiación Rayos X (30 PHz – 12 EHz)
- Radiación Ultravioleta (0.94 PHz – 3.33 PHz)
- Radiación Luz Visible (0.43 PHz – 0.94 PHz)
- Radiación Infrarroja (3 THz – 300 THz)
- Radiofrecuencia (3 kHz – 300 GHz)
 - Extremely High Frequency (30 – 300 GHz)
 - Super High Frequency (3 – 30 GHz)
 - Ultra High Frequency (300 – 3000 MHz)
 - Very High Frequency (30 – 300 MHz)
 - High Frequency (3 – 30 MHz)
 - Medium Frequency (300 – 3000 kHz)
 - Low Frequency (30 – 300 kHz)
 - Very Low Frequency (3 – 30 kHz)
 - Ultra Low Frequency (300 – 3000 Hz)
 - Extremely Low Frequency (0.03 – 300 Hz)

A la porción del espectro electromagnético que corresponde a la Radiofrecuencia [3 kHz – 300 GHz], también se le conoce como Espectro Radioeléctrico (véase **Figura 1.1**).

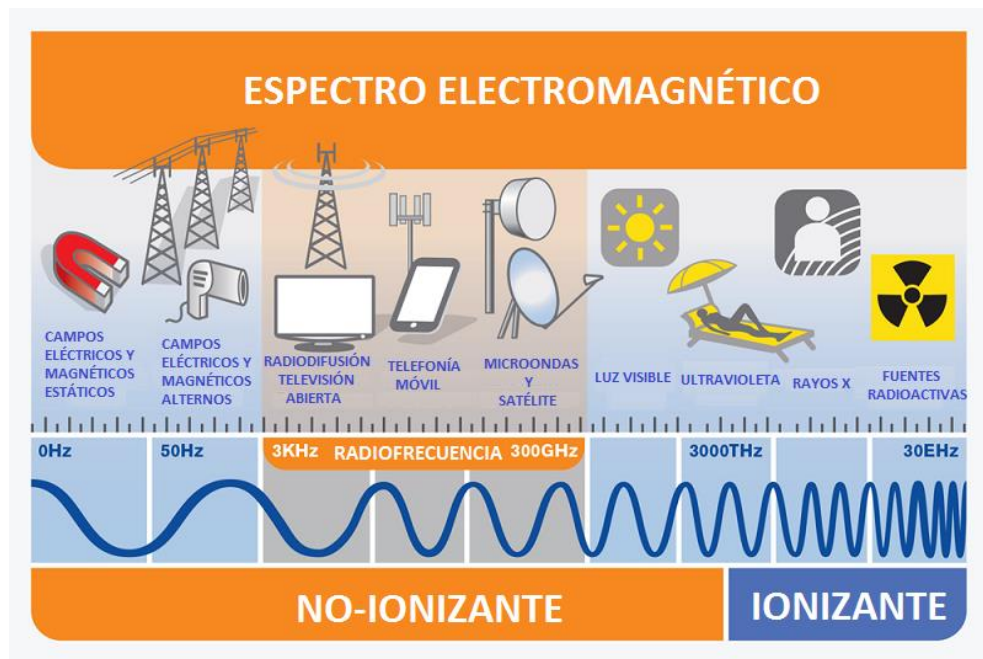


Figura 1.1 Espectro electromagnético. Imagen editada de ¹.

Las ondas electromagnéticas de menor frecuencia tienen menos energía que ondas de mayor frecuencia. Según la interacción de la radiación electromagnética con la materia, el espectro electromagnético se divide en 2 categorías principales. Estas son:

Tabla 1.1 Tipos de radiación electromagnética según su interacción con la materia.

Radiación	Descripción	Radiaciones Electromagnéticas Incluidas
Radiación Ionizante	Radiación con suficiente energía para que, durante una interacción con un átomo, pueda remover electrones de la órbita de este ionizándolo [1].	<ul style="list-style-type: none"> • Rayos X • Rayos Gamma
Radiación No-Ionizante	Radiación con energía insuficiente para romper uniones atómicas (ionización) [2]. No obstante, cuando incide en organismos vivos, puede ceder energía suficiente para producir efectos térmicos en este.	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación Ultravioleta • Radiación Visible • Radiación Infrarroja • Radiofrecuencia

Las radiaciones infrarrojas, visibles, ultravioletas e ionizantes no serán consideradas en adelante en este trabajo, y al referirnos a Radiaciones No-Ionizantes o CEM serán estrictamente los CEM de Radiofrecuencia.

¹ International Telecommunication Union, "Introduction to EMF," in *ITU-T K-series Recommendations – Supplement 1: ITU-T K.91 – Guide on electromagnetic fields and health*, 1.0 ed., Geneva, 2014, p. 1.



1.2 RNI y la Salud Humana

Los CEM son propios de la naturaleza, estando presentes desde siempre en la Tierra. Sin embargo, el desarrollo tecnológico, especialmente los derivados del uso de la electricidad, ha originado la exposición ambiental a fuentes artificiales de CEM – fuentes hechas por el hombre.

Entre las fuentes artificiales de CEM destacan las antenas, dispositivos usados en los servicios de telecomunicaciones para transmisión y recepción de señales a través de radiación de ondas electromagnéticas. La proliferación de antenas en el medio ambiente, propia del avance en las telecomunicaciones, ha hecho de la exposición pública a estas un tema de preocupación para la población en general, debido al desconocimiento sobre sus efectos en la salud humana.

Para responder a esta preocupación se han hecho esfuerzos en investigaciones durante las décadas pasadas, colaborando organismos alrededor del mundo. Entre los organismos involucrados en las investigaciones de RNI destacan:

- **Organización Mundial de la Salud** (OMS, por sus siglas en inglés)²: Órgano rector de la salud de la Organización de las Naciones Unidas (ONU)
- **Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No-Ionizante** (ICNIRP, por sus siglas en inglés): comisión científica independiente y neutral oficialmente reconocida por la OMS para sus asuntos relativos a RNI³.

Estos organismos colaboran en el Proyecto Internacional CEM (EMF Project, en inglés), creado en 1996 para evaluar el impacto de los CEM en el cuerpo humano, basado en investigaciones de RNI realizadas por instituciones científicas y organizaciones internacionales, con el fin de armonizar directrices sobre CEM a autoridades nacionales [3].

En su documento '*Estableciendo un Diálogo Sobre los Riesgos de los Campos Electromagnéticos*' [4], la OMS distingue entre qué constituye un peligro y un riesgo para la salud [3]:

- **Peligro a la Salud:** Objeto o serie de circunstancias que pueden ser potencialmente perjudiciales a la salud de las personas.
- **Riesgo a la Salud:** Probabilidad que una persona sea perjudicada por un peligro en particular.

Las exposiciones ambientales son peligros potenciales a la salud, ocasionando 2 efectos [3]:

² World Health Organization, "World Health Organization," 2015. [Online]. Available: <http://www.who.int/>. [Accessed 14 01 2016].

³ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection," 2015. [Online]. Available: <http://www.icnirp.org/>. [Accessed 14 01 2016].



- **Efecto Biológico:** Respuestas medibles del organismo o células a un estímulo o cambio en el ambiente. Tales respuestas son reacciones del mecanismo de compensación del cuerpo para mitigar los cambios ambientales.
- **Efecto Adverso a la Salud:** Causa un deterioro detectable a la salud del individuo expuesto. Puede resultar de un efecto biológico.

En el caso de la exposición ambiental a CEM, el conocimiento científico acerca de los efectos en la salud es considerable y está basado en un gran número de estudios epidemiológicos, en animales e in-vitro. Estos efectos dependen según la interacción del cuerpo con los CEM, los cuales pueden ser [5]:

- **Efectos Directos:** Resultan de la interacción directa de los campos con el cuerpo.
- **Efectos Indirectos:** Incluye interacciones con un objeto a un potencial eléctrico distinto del cuerpo.

Los efectos adversos a la salud verificados fueron consecuencias en la salud a corto plazo e inmediatas, tales como estimulación de los nervios periféricos y músculos, cambios funcionales en el sistema nervioso y tejidos, shocks y quemaduras causadas por tocar objetos conductores, y cambios en el comportamiento causado por temperaturas elevadas en el tejido [6].

En la actualidad, las investigaciones se han concentrado en resolver la interrogante si las exposiciones de bajo nivel por un período largo, aún a niveles tan bajos como para no causar incrementos significativos de temperatura, podrían causar efectos adversos a la salud.

De lo anterior, podemos afirmar que la exposición ambiental a CEM constituye un peligro potencial a la salud. Los factores que determinan si esta exposición afectará la salud son varios, entre ellos la duración de exposición, magnitud y frecuencia del CEM expuesto, entre otros. Es decir, el riesgo de la exposición ambiental a CEM depende de varios factores, por lo cual su evaluación es fundamental.

Evaluación de Riesgo a CEM

La evaluación se encarga de brindar evidencia que describa y estime la probabilidad de resultados adversos a la salud provenientes de la exposición ambiental a un agente. En el caso de los CEM, donde los campos son invisibles e imperceptibles, el riesgo no es fácilmente cuantificable y el grado de exposición está por encima del control inmediato. La **Figura 1.2** muestra los determinantes del riesgo de los CEM.



Figura 1.2 Evaluación de los riesgos asociados con los CEM. Imagen modificada de [6].

Las bases de la evaluación de riesgo son [6]:

1. **Identificación del Peligro:** La identificación de un agente potencialmente peligroso o una situación de exposición.
2. **Evaluación Dosis-Respuesta:** La estimación de la relación entre la dosis o exposición a un agente o situación y la incidencia y/o severidad de un efecto.
3. **Evaluación de la Exposición:** La evaluación de la magnitud de la exposición o potencial exposición en situaciones reales.
4. **Caracterización del Riesgo:** La síntesis o resumen de la información acerca de una situación potencialmente peligrosa en una forma útil para los que toman decisiones y los involucrados.

ICNIRP estableció directrices sobre límites de exposición a RNI en 1998, en base a los efectos adversos a la salud comprobados, facilitando la evaluación dosis-respuesta, exposición y caracterización de riesgo a CEM.

Las directrices de la ICNIRP sirven de base para las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), órgano rector de las telecomunicaciones de la ONU, respecto a la exposición humana a CEM debido a sistemas de telecomunicaciones. La UIT, con experiencia en orientación y mecanismos para verificar el cumplimiento de los niveles de señales de radio⁴, publica recomendaciones con procedimientos para calcular y medir la intensidad de CEM y niveles de potencia de las señales radioeléctricas.

Gracias a la adopción de las directrices de ICNIRP y recomendaciones técnicas de la UIT, administraciones nacionales han establecido, en un marco reglamentario, obligaciones

⁴ Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Exposición de las personas a los campos electromagnéticos y medición de los mismos,» de *Resolución 176 (Guadalajara, 2010)*, Guadalajara, 2010.



relativas a niveles máximos de RNI procedentes de dispositivos de telecomunicaciones para proteger a la población. El cumplimiento de estas obligaciones debe ser vigilado por la autoridad responsable de la gestión del espectro radioeléctrico [7].

Para controlar límites de exposición de las personas y garantizar el respeto a dichos límites por parte de los sistemas de telecomunicaciones, los reguladores de telecomunicaciones en diversos países han realizado campañas de medición de CEM periódicamente⁵.

1.3 Nicaragua y las RNI

El Estado de Nicaragua regula la prestación de las telecomunicaciones a través del Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR), creado en 1986, quien planifica, supervisa, aplica y controla el cumplimiento de las normas que rigen las telecomunicaciones^{6,7,8}.

En Nicaragua, el tema de RNI toma relevancia con el despliegue de tecnologías inalámbricas de telecomunicaciones, específicamente telefonía móvil, a finales de los 90s⁹. Esto debido a que esta tecnología comienza la instalación de antenas en zonas urbanas densamente pobladas¹⁰.

En 2004 se efectuó el 'I Foro del Sistema de Antenas', de la cual la Universidad Nacional de Ingeniería fue partícipe. Este foro se realizó debido al borrador de Ley de Antenas, 'Ley que Regula la Instalación y Ubicación de Antenas de Telefonía Celular', publicada en 2003. El borrador de Ley era muy restrictivo en cuanto a ubicación de las antenas, debido a desinformación sobre los efectos de estas antenas en la salud, por lo cual dicho Foro sirvió para aclarar, orientar y educar sobre el tema de Radiaciones No-Ionizantes a los distintos actores presentes^{11,12}.

En el Decreto 76-2006 '*Sistema de Evaluación Ambiental*', el Estado Nicaragua clasifica a los proyectos de Antenas de Comunicación como proyectos de impacto ambiental

⁵ Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Problemas de medición relativos a la exposición de las personas a los campos electromagnéticos,» de *Resolución 62 (Hyderabad, 2010)*, Hyderabad, 2010.

⁶ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 4 y 5,» de *Ley No. 200 "Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales"*, Managua, 1995, p. 8.

⁷ Junta de Gobierno de Reconstrucción Nacional de la República de Nicaragua, Decreto No. 1053: *Ley Orgánica del Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR)*, Managua, 1982.

⁸ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 1,» de *Ley No. 200 "Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales"*, Managua, 1995, p. 5.

⁹ C. Ansorena, «El segmento de telefonía móvil,» de *Competencia y regulación en las telecomunicaciones: el caso de Nicaragua*, México, D.F., 2008, p. 21.

¹⁰ La Prensa, «Piden quitar antena para celulares,» 30 08 2003. [En línea]. Available: <http://www.laprensa.com.ni/2003/08/30/nacionales/869363-piden-quitar-antena-para-celulares..> [Último acceso: 14 01 2016].

¹¹ Universidad Nacional de Ingeniería, Foro Nacional de Sistemas de Antenas (Material de referencia), Managua, 2004.

¹² La Prensa, «Polémico foro sobre antenas,» 21 08 2004. [En línea]. Available: <http://www.laprensa.com.ni/2004/08/21/nacionales/919051-polmico-foro-sobre-antenas.> [Último acceso: 14 01 2016].



moderado, pues son una alteración positiva o negativa de mediano riesgo para el medio ambiente (para el medio físico, biológico y humano)^{13,14}.

El 27 de julio del 2013 es aprobada la Ley 843, 'Ley que Regula la Ubicación, Construcción e Instalación de Estructuras de Soporte para Equipos de Telecomunicaciones que hacen Uso del Espectro Radioeléctrico'. Esta ley dicta: *"si con posterioridad a la entrada en vigencia de la presente Ley, la Organización Mundial de la Salud recomienda la adopción de medidas tendientes a la protección de la población contra exposición a radiaciones no ionizantes y las mismas recomendaciones sean avaladas por el Ministerio de Salud de Nicaragua, se procederá a incorporar lo pertinente en las normativas o Reglamentos correspondientes del Ministerio de Salud y del Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos. El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR), velando por el beneficio de la ciudadanía, será el garante de que todos los equipos de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico que se instalen, cumplan con los debidos parámetros técnicos en cuanto a potencia y emisiones de radiaciones no ionizantes"* [8].

En el plano académico, el único estudio hecho sobre RNI en Nicaragua, hasta ahora, fue realizado en diciembre del 2013, centrándose en la evaluación de exposición a emisiones de telefonía celular en ambientes urbanos del municipio de Managua [9].

El 10 de abril del 2014, durante el "Foro Telefonía Móvil y Sociedad – Los Primeros Protagonistas"¹⁵, en la "Presentación Tecnología Móvil, Regulación de Emisiones y Salud" se explicó sobre niveles de operación recomendados por la OMS, UIT e ICNIRP, además de presentar resultados del estudio mencionado anteriormente¹⁶.

1.4 Planteamiento del Problema

De acuerdo a estadísticas del 2012, las más recientes, TELCOR registra 255 operadores de Radio FM y 21 operadores de Televisión Abierta VHF/UHF que operan a nivel nacional [10]. De estos, 44 radiodifusoras y 10 teledifusoras se localizan en Managua [11] [12] [13]. Más de 40 de estos operadores tienen sus transmisores principales instalados en el municipio de El Crucero [14] [15] [16].

Debido a las más de 40 estaciones de radio y televisión ubicadas en El Crucero, existe inquietud de la población por las múltiples torres con antenas que operan simultáneamente en una zona habitada, y comúnmente frecuentada por pobladores y personal de empresas que dan servicios, como es el casco urbano del municipio El Crucero, cabecera municipal, y la más densamente poblada.

¹³ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Impacto Ambiental Potencial,» de *Decreto No. 76-2006*, Managua, 2006, p. 6.

¹⁴ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Moderado Impacto Ambiental Potencial,» de *Decreto No. 76-2006*, Managua, 2006, p. 7.

¹⁵ Universidad Nacional de Ingeniería, *Foro "Telefonía Móvil y Sociedad - Los Primeros Protagonistas"*, Managua, 2014.

¹⁶ S. M. Arias M., «Tecnología Móvil, Regulación de Emisiones y Salud,» de *Foro "Telefonía Móvil y Sociedad – Los Primeros Protagonistas"*, Managua, 2014.



El desconocimiento de los niveles de RNI a los que diariamente está expuesta la población no son conocidos, por lo que no es posible determinar si los CEM ambientales están en cumplimiento con los límites para exposición al público de la ICNIRP.

TELCOR, como ente regulador de las telecomunicaciones por el Estado de Nicaragua, obliga que los prestadores de servicios que utilicen el espectro radioeléctrico sean responsables de asegurar que el uso de sus equipos e instalaciones no presenten peligros ambientales o de radiación¹⁷, y para ello establece límites máximos a las emisiones radioeléctricas de operadores en sus normativas técnicas.

Para verificar el cumplimiento de los parámetros de funcionamiento acordados y establecidos (comprobación de las emisiones), TELCOR, a través de la Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico (DCAMER), realiza mediciones de intensidad de campo¹⁸, con estaciones móviles de radiomonitorio y radiodeterminación, componentes del Sistema de Monitoreo de Gestión y Control del Espectro Radioeléctrico.

Sin embargo, aún no se dispone de una guía que cumpla con recomendaciones internacionales para realizar mediciones de RNI utilizando estos equipos. Tampoco se cuenta con un algoritmo de tratamiento de datos para la evaluación de los niveles de RNI en base a los datos obtenidos por estos equipos.

1.5 Justificación

Considerando los diversos operadores que tienen instalados transmisores en El Crucero, es posible afirmar que los niveles de RNI existentes en este municipio son de los más altos en el país, sin embargo se desconocen. Debido a la inexistencia de datos sobre niveles de exposición, no es posible verificar el cumplimiento con recomendaciones internacionales acerca de niveles máximos de exposición poblacional. Estas recomendaciones aseguran un ambiente saludable, derecho inherente a los nicaragüenses, estipulado en la Constitución Política del Estado de Nicaragua¹⁹.

Por ello, es necesario realizar mediciones, generando datos que cuantifiquen la exposición, para comparar cambios en el nivel de exposición e identificar factores contribuyentes a lo largo del tiempo. Al disponer de estos datos, se facilitará la evaluación, y comunicación de riesgo a la población. Además, se podrán desarrollar instrumentos de regulación que posibiliten definir políticas de planificación y control que protejan a la población.

Con este trabajo, se demuestra que el Departamento de Telecomunicaciones, de la Facultad de Electrotecnia y Computación (FEC), como sector académico, promueve investigaciones que incentivan el desarrollo y uso de la tecnología en armonía con el ambiente y bienestar de la sociedad.

¹⁷ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 67,» de *Decreto No. 19-96: Reglamento de la Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales*, Managua, 1996, p. 14.

¹⁸ Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Antenas de telefonía celular operan bajo parámetros establecidos, regulados y controlados por TELCOR,» 07 06 2004. [En línea]. Available: http://www.telcor.gob.ni/Noticias.asp?Accion=VerNoticia&NOT_ID=49. [Último acceso: 14 01 2016].

¹⁹ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 60: Derechos Sociales,» de *Constitución Política de la República de Nicaragua*, Managua, 2007, p. 21.



1.6 Objetivos

Objetivo General

Evaluar los niveles de Radiación No-Ionizante emitidos por sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta, instaladas a lo largo del municipio El Crucero, empleando los equipos de medición disponibles por el Ente Regulador de Telecomunicaciones en Nicaragua.

Objetivos Específicos

1. Investigar directrices internacionales sobre límites de exposición a CEM, a través de una revisión de literatura acerca de sus efectos adversos en la salud humana.
2. Caracterizar los servicios de Radiodifusión Sonora FM y Televisión abierta en Nicaragua mediante una inspección a normativas técnicas y estadísticas de operadores actuales disponibles por TELCOR.
3. Caracterizar territorial y poblacionalmente el municipio El Crucero.
4. Determinar el método adecuado para evaluar RNI en El Crucero a través de una revisión de recomendaciones y estándares de entidades técnicas internacionales relacionados con la evaluación de exposición humana a CEM.
5. Proponer una guía general de medición In-Situ de CEM y una guía de medición específica para los equipos disponibles por TELCOR, detallando los procedimientos correspondientes.
6. Implementar la guía de medición específica en mediciones de intensidad de campo eléctrico, emitidas por Radiodifusoras FM y Teledifusoras, en puntos seleccionados del municipio El Crucero.
7. Recomendar procedimientos para el post-procesamiento de los datos de medición obtenidos por los equipos disponibles por TELCOR.
8. Recomendar procedimiento a seguir para comprobar la precisión de los datos de medición de intensidad de campo eléctrico, obtenidos por los equipos de radiomonitorio, estimando variables de incertidumbre a través de análisis estadístico.
9. Identificar las zonas del municipio El Crucero donde niveles de RNI sean mayores.

1.7 Contribución de la Monografía

El presente documento tiene como finalidad brindar información sobre la evaluación de Radiaciones No-Ionizantes (RNI) emitidas por las antenas de radiodifusión FM y televisión abierta que operan simultáneamente en áreas pobladas del municipio El Crucero.

Se provee una guía de evaluación de RNI apropiada para los equipos instalados en las unidades móviles de comprobación técnica de TELCOR, cumpliendo recomendaciones y estándares internacionales, con el fin de que sea replicada en mediciones de RNI en sitios de interés a nivel nacional.

Con este trabajo se genera la primera base de datos que cuantifican la exposición a RNI en el municipio El Crucero, debido a las fuentes de radiodifusión FM y televisión abierta ubicadas en este. Estos datos podrán ser utilizados para comparar cambios en el nivel de exposición e identificar factores contribuyentes a lo largo del tiempo.



Para poder realizar esta investigación se tuvo que identificar los emplazamientos de los operadores de los servicios mencionados, adquiriendo su posición geográfica, complementando así la información de las licencias de operación disponibles en el portal de TELCOR.

1.8 Estructura de Contenido

Para la comprensión del lector, este documento ha sido dividido en 3 partes:

- La **primera parte** describe la base científica de los límites de exposición de RNI, la caracterización técnica de los servicios de radio FM y TV abierta en Nicaragua, y la caracterización territorial y poblacional del municipio El Crucero.
- La **segunda parte** muestra un análisis de los métodos de evaluación de RNI, la elaboración de la guía de medición para los equipos de TELCOR y la aplicación de la misma en El Crucero.
- La **tercera parte** presenta los resultados obtenidos de la aplicación de la guía de medición, el cálculo de incertidumbre, y las conclusiones y recomendaciones.



2.Exposición Humana a RNI

2.1 Protección a RNI: ICNIRP

La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (**ICNIRP**, por sus siglas en inglés), creada en 1992, proporciona orientación científica sobre los efectos en la salud de las RNI para proteger a la población y medioambiente de su exposición.

En su publicación “*Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (hasta 300 GHz)*”, establece directrices para limitar la exposición a CEM, después de una revisión exhaustiva de toda la literatura científica publicada, específicamente estudios experimentales y epidemiológicos sobre efectos biológicos y mecanismos de acción de los CEM en el cuerpo. Si bien estas recomendaciones fueron publicadas en 1998, ICNIRP, en una declaración del 2009 respecto a dichas recomendaciones, considera que la literatura publicada no amerita se requiera una revisión inmediata, confirmando así la vigencia de estas recomendaciones hasta nuevo aviso [17].

El objetivo de *Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (hasta 300 GHz)* es proveer protección contra los efectos adversos a la salud por los CEM conocidos [18] [5]. Como se mencionó anteriormente, los únicos efectos adversos verificados por una evaluación exigente fueron efectos inmediatos y a corto plazo [5], como:

- Estimulación de los nervios periféricos y músculos
- Cambios funcionales en el sistema nervioso y tejidos
- Shocks y quemaduras causadas por tocar objetos conductores
- Cambios en el comportamiento causado por temperaturas elevadas en el tejido

En base a lo anterior, y no en posibles efectos debido a exposición a largo plazo, dos orientaciones sobre límites de exposición se definen: **Restricciones Básicas y Niveles de Referencia**.

Tabla 2.1. Descripción de los Límites de Exposición

Orientación	Descripción	Cantidad Física*
Restricciones Básicas	Se relacionan directamente con los efectos comprobados de los CEM en la salud humana [5].	<ul style="list-style-type: none">• Densidad de Corriente J [$A \cdot m^{-2}$]• Tasa de Absorción Específica SAR [$W \cdot kg^{-1}$]• Densidad de Potencia S [$W \cdot m^{-2}$]
Niveles de Referencia	Derivados de las Restricciones Básicas a través de modelización matemáticas y extrapolación. Facilita determinar si la Restricción Básica puede ser excedida, al estar expresado en cantidades físicas más fáciles de medir por lo que son fuera del cuerpo [5]	<ul style="list-style-type: none">• Intensidad de Campo Eléctrico E [$V \cdot m^{-1}$]• Intensidad de Campo Magnético H [$A \cdot m^{-1}$]• Densidad de Flujo Magnético B [T]• Densidad de Potencia S [$W \cdot m^{-2}$]

Nota: Según la frecuencia del campo, la cantidad física a utilizar varía.



Los límites de exposición para las Restricciones Básicas o Niveles de Referencia son diferentes según el tipo de población que está en exposición [5]:

- **Ocupacional:** La población ocupacional consiste en trabajadores adultos expuestos en condiciones generalmente conocidas, y están capacitados para ser conscientes del riesgo potencial de los CEM y tomar precauciones apropiadas.
- **Público en General:** El público en general, integrado por individuos de todas las edades y con estados de salud variables, en muchos casos no están conscientes de su exposición a los CEM, y pueden incluir grupos o individuos susceptibles a estos. Es por esto que los límites para la exposición del público en general son más rigurosos que para la exposición ocupacional.

Para que haya protección contra efectos adversos a la salud se requiere que las Restricciones Básicas no sean excedidas. El cumplimiento del Nivel de Referencia garantizará el cumplimiento de la Restricción Básica pertinente. Si el valor medido o calculado de las cantidades físicas del Nivel de Referencia supera el límite, no necesariamente significa que se supere la Restricción Básica. No obstante, siempre que se supere un nivel de referencia es necesario verificar el cumplimiento de la correspondiente restricción básica y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales [5].

La ICNIRP recomienda el uso de los Niveles de Referencia como orientación general para límites de CEM para los trabajadores y al público en general [6]. El cumplimiento de los límites de exposición recomendados por organismos nacionales e internacionales ayuda a controlar los riesgos de la exposición a CEM que puede ser dañina a la salud humana.

Los Niveles de Referencia para el Público en General serán los límites de exposición considerados para la realización de esta investigación. En la **Tabla 2.2** se muestran estos valores límites.

Tabla 2.2 Niveles de Referencia para Exposición Poblacional a Campos Eléctricos y Magnéticos (valores *rms* no perturbados). Tabla extraída de [5].

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico [V · m ⁻¹]	Intensidad de Campo Magnético [A · m ⁻¹]	Densidad de Flujo Magnético [μT]	Densidad de Potencia [W · m ⁻²]
Hasta 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1 – 8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	—
8 – 25 Hz	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$	—
0.025 – 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	—
0.8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6.25	—
3 – 150 kHz	87	5	6.25	—
0.15 – 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	—
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	—
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 – 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10
Notas: 1. f es la frecuencia que se indica en la columna Rango de Frecuencias. 2. Asumiendo que se cumplen las restricciones básicas y que se pueden excluir los efectos indirectos adversos, los valores de las intensidades de campo pueden ser excedidos				



3. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 y B^2 deben ser promediados sobre cualquier período de 6 minutos.
4. Para valores pico en frecuencias mayores a 100 kHz. Entre 100 kHz y 10 MHz los valores pico de las intensidades de campo son obtenidas de la interpolación desde 1.5 veces el valor pico en 100 kHz hasta 32 veces el valor de pico en 10 MHz. Para frecuencias mayores a 10 MHz se sugiere que el valor de pico de la densidad de potencia de onda plana equivalente, promediada sobre el ancho del pulso, no exceda por 1000 veces las restricciones de S_{eq} o que la intensidad de campo no exceda en 32 veces los niveles de exposición en intensidad de campo dados en esta tabla.
5. Para frecuencias mayores a 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 y B^2 deben ser promediados sobre cualquier período de $68/f^{1.05}$ minutos (f en GHz).
6. No se provee valores de campo eléctrico para frecuencias menores a 1 Hz, los cuales efectivamente son campos eléctricos estáticos. Para la mayoría de gente la molesta percepción de cargas eléctricas en su superficie no ocurrirá para intensidades de campo menores a 25 kVm^{-1} . Las descargas tipo chispas causantes de estrés y molestia deberían ser evitadas.

2.2 Coeficiente de Exposición Total

En situaciones de exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias, se requiere el cálculo de la exposición acumulativa, debido a la aditividad en los efectos de cada CEM. Este cálculo de exposición acumulativa debe realizarse separadamente para los efectos de estimulación térmica y eléctrica [5], calculando lo que se conoce como Coeficiente de Exposición Total, W_t .

El Coeficiente de Exposición Total se expresa en términos de Niveles de Referencia, como la relación entre intensidad de campo y su valor límite correspondiente. Un valor mayor que 1 significa que los niveles a los que pueden estar expuestas las personas superan la los Niveles de Referencia. Cada Coeficiente de Exposición Total debe cumplir 2 requisitos [5]:

Tabla 2.3 Coeficiente de Exposición Total para Niveles de Referencia.

Rango de Frecuencia	Efecto en la Salud	Coeficiente de Exposición Total
1 Hz – 10 MHz	Estimulación Eléctrica	$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$ $\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{65 \text{ kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65 \text{ kHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$
100 kHz – 300 GHz	Efectos Térmicos	$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$ $\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$
Donde: E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i $E_{L,i}$ es el nivel de referencia del campo eléctrico a la frecuencia i , según Tabla 2.4 y 2.5 H_j es la intensidad de campo magnético a la frecuencia j		



$H_{L,j}$	es el nivel de referencia del campo magnético a la frecuencia j , según Tabla 2.4 y 2.5
a	es $610 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ para exposición ocupacional, y $87 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ para exposición público en general
b	es $24.4 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ ($30.7 \mu\text{T}$) para exposición ocupacional, y $5 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ ($6.25 \mu\text{T}$) para exposición
c	es $610/f \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz) para exposición ocupacional, y $87/f^{1/2} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz) para exposición público en general
d	es $1.6/f \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz) para exposición ocupacional, y $0.73/f \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz) para exposición público en general
Nota: Si existen componentes espectrales en la parte común de ambas gamas (100 kHz – 10 MHz), deben calcularse ambos tipos de coeficientes de exposición total y el valor de ambos debe ser inferior a 1.	

La publicación de ICNIRP *Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (hasta 300 GHz)* no se encarga ni de instrumentación, técnicas de medición o métodos computaciones de las cantidades físicas que caracterizan a los campos electromagnéticos. Esto debido a que la ICNIRP reconoce la necesidad de asesoramiento técnico de organizaciones especializadas, como la UIT, para desarrollar medidas que conduzcan al cumplimiento de sus directrices, biológicamente justificadas, sobre la exposición humana a CEM, a limitaciones prácticas de exposición [6].



3. Nicaragua y las Telecomunicaciones

3.1 Ente Regulador de Telecomunicaciones TELCOR

El espectro radioeléctrico (3 kHz – 300 GHz) es un recurso natural limitado empleado para las telecomunicaciones. Al ser un bien del dominio público, está sujeto al control del Estado de cada país para su correcta administración.

TELCOR garantiza una óptima utilización técnica del espectro radioeléctrico a través de la Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico (DCAMER)²⁰, conformada por 2 Departamentos²¹:

- Departamento de Ingeniería y Gestión del Espectro
- Departamento de Inspección y Monitoreo

La finalidad del DCAMER es monitorear el correcto uso del espectro radioeléctrico mediante inspecciones técnicas para cautelar el fiel cumplimiento de las normas técnicas, disposiciones, reglamentos y recomendaciones de TELCOR y organismos internacionales [19]. Para esta labor, DCAMER cuenta con el Sistema Nacional de Control y Gestión del Espectro Radioeléctrico, una red nacional de monitoreo y administración.

Sistema Nacional de Control y Gestión del Espectro Radioeléctrico

Suministrado e instalado por la empresa alemana Rohde & Schwarz GmbH²² en 2002, el Sistema Nacional de Control y Gestión del Espectro Radioeléctrico está conformado por los componentes descritos en la **Tabla 3.1** [20]:

²⁰ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 44,» de *Decreto No. 128-2004: Reglamento General de la Ley Orgánica de TELCOR*, Managua, 2004, p. 28.

²¹ Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Acuerdo Administrativo 013-2005,» Managua, 2005.

²² The World Bank, "Bidding No. 01-b," 2001. [Online]. Available: http://www.worldbank.org/projects/procurement/contractoverview?contr_id=1209323&lang=en. [Accessed 10 01 2016].



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

Tabla 3.1 Descripción Básica Sistema Nacional de Control y Gestión del Espectro Radioeléctrico.

Componente	Cantidad	Ubicación	Función	Equipos
Centro de Gestión y Control del Espectro Radioeléctrico (CGC)	1	Edificio TELCOR	<ul style="list-style-type: none">• Análisis ingenieriles de propagación y cobertura, para efectos de coordinación de servicios• Planificación para asignación de frecuencias• Administración de licencias• Control remoto de estaciones de monitoreo	<ul style="list-style-type: none">• Red Computacional con Aplicaciones de Software y Bases de Datos
Estaciones Fijas de Monitoreo	6	Región Norte y Pacífico de Nicaragua [21]	<ul style="list-style-type: none">• Medición de Emisiones• Identificación y localización de interferencias radioeléctricas	<p>Cada estación está equipada con:</p> <ul style="list-style-type: none">• Receptor de Monitoreo R&S ESMB, para el rango 20 MHz – 3GHz• Direction Finder R&S DDF190• Antenas de Polarización Horizontal y Vertical, para el rango 20 MHz – 3GHz*• Software ARGUS
Unidad Móvil (Vehículo) de Monitoreo	2	-	<ul style="list-style-type: none">• Localización de transmisores no autorizados, y transmisores móviles• Identificación y localización de interferencias radioeléctricas	<p>Cada Unidad Móvil está equipada con:</p> <ul style="list-style-type: none">• Receptor de Monitoreo R&S ESMB, para el rango 20 MHz – 3GHz• Antenas de Polarización Horizontal y Vertical, para el rango 20 MHz – 3GHz• Antena de Goniometría ADD190 en polarización vertical, para el rango 20 MHz – 1300 MHz• Direction Finder R&S DDF190• Computadora<ul style="list-style-type: none">○ Sist. Operativo Windows NT○ Software de Monitoreo, Medición y Goniometría ARGUSMON 4.3

Nota:

- Una estación está equipada con una antena que baja el rango de frecuencias hasta 10 kHz

El sistema permite gestionar, controlar, radiolocalizar y efectuar la comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas en el área de cobertura de interés de los diversos de radiocomunicaciones en el rango de frecuencia de 10 kHz a 3 GHz.



3.2 Sistemas de Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta en Nicaragua

La Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta son servicios que se caracterizan por hacer difusión de su señal (*'broadcasting'*). Esto quiere decir que funcionan unidireccionalmente, del transmisor a los distintos receptores en sintonía (usuarios del público en general). Esta señal difundida puede contener información sonora (Radiodifusión Sonora AM ó FM), o imagen/visual-sonora (Teledifusión).

En Nicaragua, la Radiodifusión Sonora (AM y FM), así como la Televisión Abierta (VHF y UHF), son servicios de interés general, ya que, sin ser servicios públicos esenciales, son ofrecidos al público. Para su operación, requieren de una licencia otorgada por TELCOR y cumplir, de manera obligatoria, con la normativa técnica correspondiente a cada servicio [22] [23]. En la **Tabla 3.2** se presentan las Normativas Técnicas para la Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta.

Tabla 3.2 Normativas técnicas regulatorias para la Radiodifusión Sonora FM y Televisión Abierta.

Acuerdo Administrativo No.	Normativa Técnica	Descripción
19-2000	NON-BC-001-2000	Estaciones de Radiodifusión Sonora con Portadora Principal en Frecuencia Modulada (Especificaciones y Requerimientos para la Instalación y Operación de Estaciones de Radiodifusión Sonora con Portadora Principal Modulada en Frecuencia).
17-2003	NON-TV-001-2003	Normativa Técnica para la Instalación y Operación de Estaciones de Radiodifusión de TV Monocroma y en Color (Bandas VHF y UHF).

Cada normativa establece especificaciones de carácter técnico que deben cumplir en la instalación y operación de estaciones de Servicio de Radiodifusión Televisiva y Radiodifusión Sonora FM, a fin de proporcionar un servicio eficiente y de calidad.

Para el propósito de este trabajo, en las Normativas Técnicas nos enfocaremos en las secciones de clasificación de estaciones, elección del sitio para sistemas radiadores (antenas) y áreas de servicio, excluyendo secciones no mencionadas. Esto debido a que las secciones mencionadas son las necesarias para caracterizar la emisión de estas.

Radiodifusión sonora en FM

La banda de frecuencia 88 – 108 MHz está destinada al servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada (FM). Cada canal en la banda FM se identifica por su frecuencia portadora central y número de canal, comenzando en 88.1 MHz y continuando sucesivamente hasta 107.9 MHz [24] (El **Anexo C** presenta la identificación completa de los canales FM).

Según la extensión del área de servicio, que es el área de terreno que cubre una estación con una intensidad de campo suficiente para proporcionar el servicio de radiodifusión²³,

²³ Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Área de servicio,» de *Normativa Técnica No.NON-BC-001-2000*, 1.0 ed., Managua, Editora de Arte, S.A., 2000, p. 105.



y su potencia máxima radiada, las estaciones de Radiodifusión Sonora con Portadora Principal Modulada en Frecuencia se dividen en 4 clases²⁴ [24].

Tabla 3.3 Clasificación Estaciones Radio FM.

Clase de Estación	Áreas Destinadas a Brindar Servicio	Máxima Potencia Radiada Aparante en Cualquier Dirección [kW]	Altura del Centro de Radiación de la Antena sobre el Terreno Promedio [m]
Clase A	<ul style="list-style-type: none">• Poblaciones o Ciudades relativamente pequeñas• Áreas rurales contiguo a las ciudades o poblaciones pequeñas	3	90
Clase B	<ul style="list-style-type: none">• Áreas Extensas	50	150
Clase C	<ul style="list-style-type: none">• Ciudades de una área urbana• Áreas rurales contiguo a estas ciudades	10	600
Clase D	Una estación de parámetros restringidos	0.02	30

Televisión Abierta

La Normativa Técnica NON – TV – 001 – 2003 establece la banda de frecuencias entre 54 y 890 MHz para el uso por parte de Estaciones del Servicio de Radiodifusión Televisiva, con la siguiente división [25]:

- 54 – 72 MHz: Canales 2 a 4
- 76 – 88 MHz: Canales 5 y 6
- 174 – 216 MHz: Canales 7 al 13
- 470 – 890 MHz: Canales 14 al 83

La Normativa Técnica NON – TV – 001 – 2003, emitida en el 2003, establece que la banda 470 – 890 MHz es compartida con otros servicios. El Acuerdo Administrativo 007 – 2005 [26], emitido en el 2005, esclarece qué porción de dicha banda de frecuencias será para Radiodifusión Televisiva, quedando de la siguiente forma:

- 470 – 608 MHz: Canal 14 al 36
- 614 – 698 MHz: Canal 38 al 51

La porción restante de la banda (698 – 806 MHz) se asigna a los servicios fijos y móviles para la prestación de servicios para transmisión de datos [26]. En vista a lo anterior, si bien la normativa técnica estipula el canal 83 como el último para el servicio de radiodifusión televisiva, para este trabajo el último canal que se considerará para el servicio de Televisión Abierta será el 51.

Al igual que la Radiodifusión FM, las estaciones de televisión se clasifican según su área de servicio y contornos de intensidad de campo de la siguiente forma [25]:

²⁴ Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Estación,» de *Normativa Técnica No. NON-BC-001-2000*, 1.0 ed., Managua, Editora de Arte, S.A., 2000, p. 105.



Tabla 3.4 Clasificación Estaciones de TV Abierta.

Estación de Televisión	Área Destinada a Brindar Servicio	Delimitación de área a servir según Contornos de Isoservicio, de acuerdo al canal de operación			Calidad de Servicio en el área a servir según el canal de operación		
		2 al 6	7 al 13	15 al 51	2 al 6	7 al 13	15 al 51
Clase I (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> Núcleos importantes de Población (Ciudades) Núcleos Secundarios (Zonas rurales aledañas) 	47 dBμV	56 dBμV	64 dBμV	74 dBμV	77 dBμV	80 dBμV
Clase II (Local)	<ul style="list-style-type: none"> Una Ciudad Poblaciones circunvecinas 	47 dBμV	56 dBμV	74 dBμV	74 dBμV	77 dBμV	80 dBμV
Clase III (Local)	<ul style="list-style-type: none"> Ciudad dentro de zona urbana 	74 dBμV	77 dBμV	80 dBμV	-	-	-

En la **Tabla 3.5** se muestran las potencias radiadas aparentes máximas para cada canal de servicio [25].

Tabla 3.5 Potencias Máximas Estaciones de Televisión.

Canales	Potencia Radiada Aparente Máxima
2 al 6	25 kW
7 al 13	25 kW
15 al 51	50 kW

En la **Tabla 3.6** se dan los valores específicos de las intensidades medias de campo según el canal de operación [25].

Tabla 3.6 Contornos de Intensidad de Campo.

Canales					
2 al 6		7 al 13		15 al 51	
dBμV	μV	dBμV	μV	dBμV	μV
47 (1)	224	56 (1)	631	64 (1)	1585
68 (2)	2511	71 (2)	2548	74 (2)	5011
74 (3)	5011	77 (3)	7080	80 (3)	10000
Notas: (1) Contornos protegidos de la estación (2) Contorno para señal de referencia para cada grupo de canales, dentro de la que se pueden ubicar sistemas de retransmisión de baja potencia (minitransmisores, trasladores o amplificadores), con el objeto de cubrir zonas difíciles o de nula recepción. (3) Contornos para señal mínima dentro de la cual debe quedar comprendida la ciudad principal a servir					

Potencias máximas de Instalaciones

En la **Tabla 3.7** se muestran los niveles de potencia máxima para las instalaciones de Radiodifusión sonora en FM y Televisión Abierta según su clase de instalación y su frecuencia de operación.



Tabla 3.7 Potencias Máximas según clase de instalación, y canal de servicio.

Servicio	Frecuencia de Operación	Potencia Radiada Máxima (kW)			
		A	B	C	D
Radiodifusión FM	88 MHz – 108 MHz	3	50	10	0.02
Televisión Abierta	VHF Parte Baja: 54 MHz – 72 MHz (Canal 2-4) 76 MHz – 88 MHz (Canal 5-6)	25			
	VHF Parte Alta: 174 MHz – 216 MHz (Canal 7-13)				
	UHF: 470 MHz – 608 MHz (Canal 14-36) 614 MHz – 698 MHz (Canal 38-51)	50			

Ubicación del Sistema Radiador FM y TV Abierta

En las Normativas Técnicas de FM y TV Abierta, en el apartado de Sistema Radiador (Antenas), se trata la elección del sitio para dicho sistema, especificándose que “*esta se hará de acuerdo con el propósito de la estación, es decir, según se quiera proporcionar servicio a una ciudad pequeña, un área metropolitana o una gran región*” [25]. Como ubicación ideal, establecen que es “*deseable que el sitio donde vaya a instalarse el sistema radiador quede localizado tan cerca como sea posible del centro geométrico del área por servir; consistente esto con la posibilidad de encontrar el sitio con la suficiente elevación*” [24].

En la región del Pacífico nicaragüense, el municipio de El Crucero, debido a su elevación de 945 mts. en su punto máximo [27], cumple como ubicación ideal para estos sistemas, como se puede apreciar en **Figura 3.1**. Sumando a lo anterior, el hecho de su cercanía a la capital (aprox. 15 km en línea recta), El Crucero es el principal sitio de sistemas de radiocomunicaciones en la zona del Pacífico nicaragüense.

Prueba de esto se aprecia en los registros de TELCOR. De acuerdo a estadísticas del 2012, las más recientes, TELCOR registra 255 operadores de Radio FM y 21 operadores de Televisión Abierta VHF/UHF que operan a nivel nacional [10]. De estos, 44 radiodifusoras y 10 teledifusoras se localizan en Managua [11] [12] [13]. Más de 40 de estos operadores tienen sus transmisores principales instalados en el municipio de El Crucero [14] [15] [16].



Figura 3.1 Comparación Alturas sobre el Nivel del Mar Municipios Managua, Ticuantepe y El Crucero²⁵.

²⁵ Imagen editada de: La Prensa, «Infografía El Crucero,» [En línea].

El Crucero

El municipio de El Crucero fue creado en el año 2000, a través de la Ley No. 329 “Ley Creadora de los Municipios de Ciudad Sandino y El Crucero”, publicada en la Gaceta No.7 del martes 11 de enero del 2000. Dicha Ley crea los Municipios Ciudad Sandino, y El Crucero, desmembrados del Municipio de Managua, pasando a formar parte de los municipios que constituyen el Departamento de Managua^{26,27}.

Sus límites municipales son:

- **Al Norte:** Limita con el Municipio de Managua.
- **Al Sur:** Limita con los Municipios de San Rafael del Sur y San Marcos.
- **Al Este:** Limita con los Municipios de Ticuantepe y La Concepción.
- **Al Oeste:** Limita con el Municipio de Villa Carlos Fonseca.

La definición de los límites internos del municipio El Crucero da como resultado 17 comunidades y un casco urbano dividido en 8 barrios²⁸, mostrados en la **Figura 3.2** y **Figura 3.3**, respectivamente.

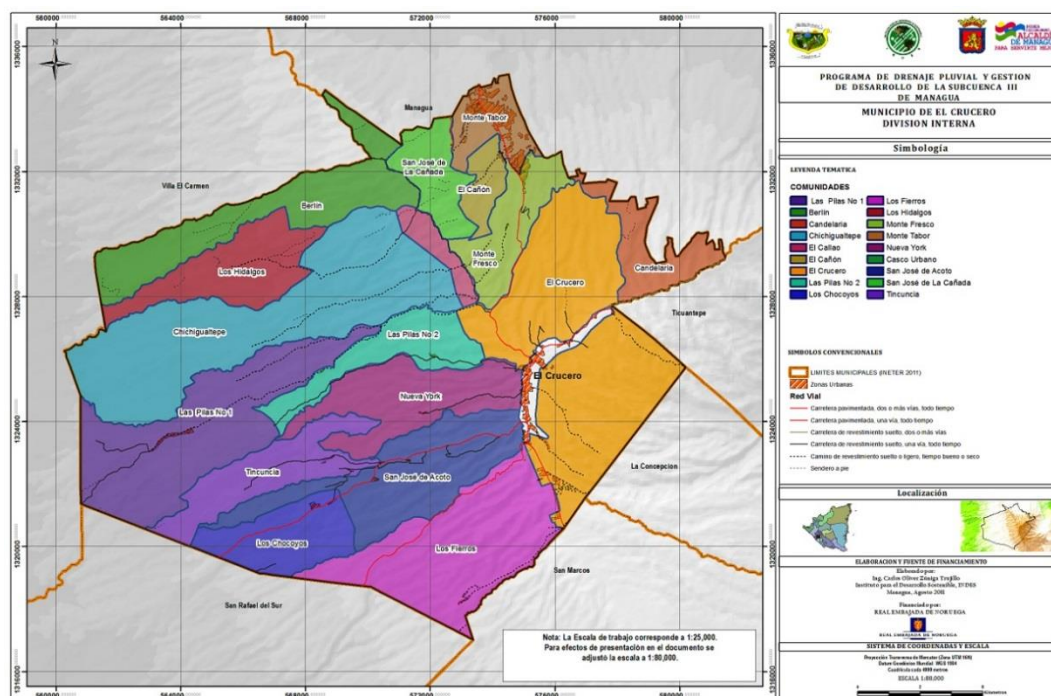


Figura 3.2 División Interna Municipio El Crucero.

²⁶ Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Ley Creadora de los Municipios de Ciudad Sandino y El Crucero,» 15 12 1999. [En línea]. Available: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aeea87dac762406257265005d21f7/eff30ae4124047870625713a00536e8c?OpenDocument>. [Último acceso: 10 01 2016].

²⁷ Figuras 3-2, 3-3 y 3-4 extraídas de: Instituto para el Desarrollo Sostenible, Estudio de Límites Municipales Municipio El Crucero, Managua, 2011.

²⁸ Instituto para el Desarrollo Sostenible, «Límites internos municipales,» de *Línea de Base Municipio El Crucero*, Managua, 2011-2012, p. 5.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

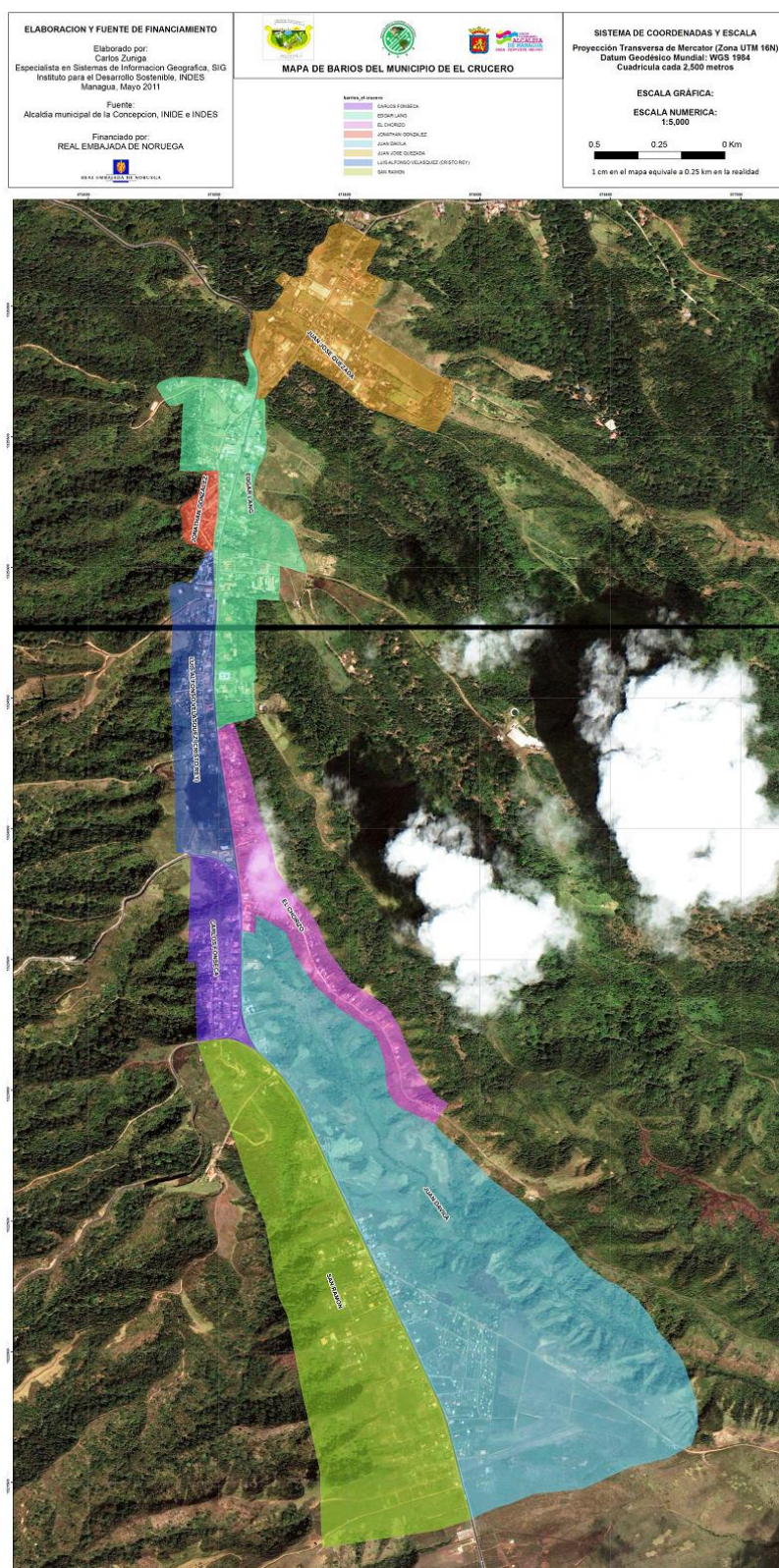


Figura 3.3 Barrios del Casco Urbano El Crucero.



La **Tabla 3.8** muestra la distribución territorial de cada comunidad y barrio del municipio El Crucero, así como el porcentaje que representa del municipio.

Tabla 3.8 Áreas de Comarcas y Barrios del municipio El Crucero²⁹.

Comarcas		
Comarcas	Área (km²)	Porcentaje del Municipio (%)
El Callao	2.58	1.16
El Cañón	2.97	1.33
Monte Tabor	5.14	2.31
San José de La Cañada	5.75	2.58
Candelaria	6.13	2.75
Monte Fresco	7.60	3.41
Las Pilas No. 2	8.17	3.61
Los Chocoyos	8.73	3.92
Tincuncia	9.80	4.40
Los Hidalgos	10.57	4.74
Nueva York	12.73	5.71
San José de Acoto	15.99	7.18
Los Fierros	20.89	9.38
Las Pilas No. 1	22.81	10.24
Chichigua-Itepe	32.81	14.73
El Crucero	34.55	15.51
Berlín	15.46	6.94
Casco Urbano	0.11	0.5
Total	222.8	100
Casco Urbano		
Barrio	Área (km²)	Porcentaje del Barrio en el Casco Urbano (%)
Carlos Fonseca	0.13	3.86
El Chorizo	0.21	6.23
Juan José Quezada	0.29	8.61
Luis Alfonso Velásquez (Cristo Rey)	0.20	5.93
Juan Dávila	1.41	41.84
Jonathan Gonzáles	0.03	0.89
San Ramón	0.79	23.44
Edgar Lang	0.31	9.20
Total	3.17	100

De acuerdo a los resultados oficiales del último censo de población nicaragüense del 2005, implementado por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas (INIDE), el municipio El Crucero cuenta con una población de 13,656 personas. La población urbana corresponde a 4,010 personas, y la población rural 9,646 personas³⁰.

²⁹ Datos de Tabla 3-8 extraídos de: Instituto para el Desarrollo Sostenible, Estudio de Límites Municipales Municipio El Crucero, Managua, 2011.

³⁰ Instituto Nacional de Información de Desarrollo, El Crucero En Cifras, Managua, 2008.



En el casco urbano de El Crucero, para el 2005 no existían como tal los barrios Juan Dávila y San Ramón, razón por lo que no se conoce la densidad poblacional de esos barrios.

La población se concentra en las comarcas El Crucero, así como en el casco urbano. El asentamiento humano, en hileras paralelas a la carretera, está más cerca del equipamiento, infraestructura y servicios que supone la cercanía a la carretera, a la ciudad de Managua y al casco urbano cabecera municipal.

En la **Tabla 3.9**, se muestra la distribución poblacional en el casco urbano del municipio El Crucero.

Tabla 3.9 Superficie, Población y Densidad de Población por Barrios³¹.

Barrio	Superficie [km²]	Población [Habitantes]	Densidad [Hab./km²]
Carlos Fonseca	0.13	614	4,723.08
El Chorizo (Manuel Moya)	0.21	497	2,366.67
Luis Alfonso Velasquez	0.20	1,049	5,245
Edgar Lang	0.31	622	2,006.45
Juan José Quezada	0.29	972	3,351.72
Jonathan Gonzáles	0.03	258	8,600
Total Casco Urbano	1.17	4,012	3,420.06

La gran mayoría de estaciones de radiodifusión y teledifusión están ubicadas en los barrios Juan José Quezada, con 972 habitantes, parte del barrio Edgar Lang, con 622 habitantes, y a lo largo de la carretera El Crucero-Las Nubes. Más de mil habitantes residen próximos a aglomeraciones de estos emplazamientos, algunas instaladas en zonas de accesibilidad pública, o a menos de 15 metros de viviendas.

Considerando la cercanía de la población a los más de 40 operadores de Radiodifusión FM y Televisión Abierta, una evaluación de los niveles de RNI es necesaria.

³¹ Datos de Tabla 3-9 y Figura 3-5 extraídos de: Instituto para el Desarrollo Sostenible, Estudio de Tendencias de Composición, Crecimiento y Distribución Territorial de la Población Municipio El Crucero, Managua, 2011.

4. Evaluación de Exposición a CEM

En este capítulo son expuestos los objetivos de la evaluación de exposición a CEM y métodos para su realización.

Objetivos de la Evaluación a CEM

La evaluación a CEM puede seguir uno de los siguientes objetivos:

Objetivo 1: Determinar Zonas de Exposición de una Fuente

Dentro de los objetivos de la evaluación de exposición a CEM se encuentra la clasificación de los lugares en los que las personas podrían estar expuestas debido a una fuente de CEM en una de las 3 zonas presentadas en la **Tabla 4.1** [28]:

Tabla 4.1 Zonas de Exposición debido a una Fuente.

Zona de Exposición	Cumplimiento Límites de Exposición	Acceso de Población a la Zona
Zona Conformidad	Límites Población Ocupacional ✓ Límites Público General ✓	Población Ocupacional ✓ Público General ✓
Zona Ocupacional	Límites Población Ocupacional ✓ Límites Público General ×	Población Ocupacional ✓ Público General ×
Zona Rebasamiento	Límites Población Ocupacional × Límites Público General ×	Ocasionalmente Población Ocupacional

En la **Figura 4.1** se muestran estas zonas de exposición.

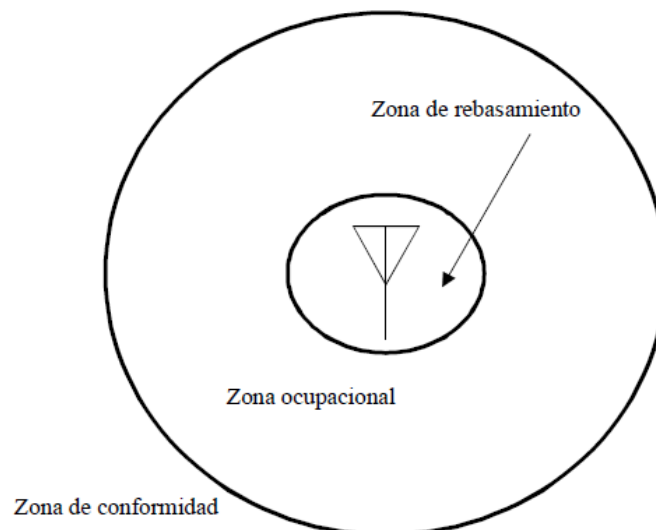


Figura 4.1 Ilustración de las Zonas de Exposición. Figura extraída de [28].

Cabe señalar que las zonas mencionadas anteriormente no corresponden a delimitaciones físicas, sino a zonas de propagación del CEM de la fuente en cuestión. La estructura perimetral que encierra la fuente de CEM debería abarcar la zona de rebasamiento y ocupacional de la fuente, para que fuera de este perímetro el público en general se encuentre en una zona de conformidad.

Objetivo 2: Determinar cumplimiento de un punto en específico con límites de exposición

En este caso, se desea determinar si un punto en un sitio en específico (escuela, hospital, barrio, etc.) está en cumplimiento con los límites de exposición, por motivos de garantizar seguridad y confianza a su población.

Métodología de Evaluación a CEM

Para evaluar si tanto una fuente o un sitio se encuentra en conformidad, puede utilizarse el flujo de procedimientos mostrado en la **Figura 4.2**.

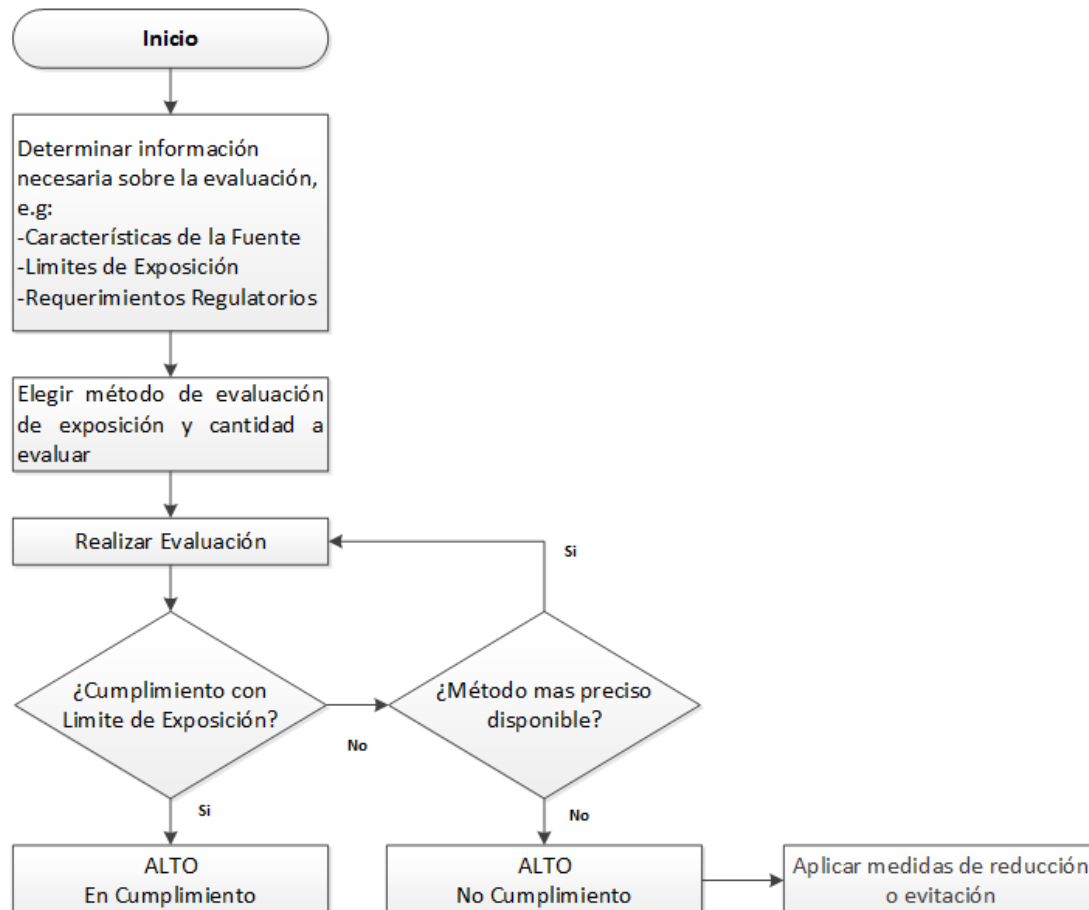


Figura 4.2 Descripción general para el procedimiento de evaluación de la exposición. Figura extraída de [29].

Este procedimiento puede resumirse en los siguientes pasos [28]:

1. **Identificar los límites de conformidad adecuados:** En muchos casos, los organismos de reglamentación o de normalización local o nacional publican los límites de seguridad de EMF. Si no existen estos límites, o si no cubren las frecuencias de interés, deben utilizarse los límites de la ICNIRP [28].
2. **Determinar si la evaluación se realizará mediante método de cálculo o medición:** La evaluación de CEM puede realizarse mediante 2 tipos de métodos: Métodos de Cálculo y Métodos de Medición. Ambos tipos deben ser aplicados para escenarios de exposición realistas. En circunstancias específicas, uno de estos puede ser más ventajoso que el otro. De ser ambos apropiados, se puede utilizar uno para ratificar los resultados del otro [30].



3. **Aplicar medidas de reducción o evitación:** Cuando la evaluación de la exposición al CEM indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas donde pueda haber presencia de personas.

El procedimiento de evaluación de exposición a CEM tratado en los métodos de cálculo y medición se ocupa de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales. Para propósitos de esta investigación, nos enfocaremos solo en las áreas de acceso al público en general. Cabe señalar, que este trabajo no abordará técnicas de mitigación en caso de sobrepasarse los límites de exposición. Para más información al respecto, revisar la recomendación **UIT-T K.70**.

Regiones de Campo

Tomando en consideración la frecuencia de la fuente y la dimensión D de su elemento radiante, pueden delimitarse las regiones de propagación del campo irradiado y así determinar en cuál de estas se encuentra el punto de investigación.

Resulta importante determinar la zona de campo, pues las propiedades de los CEM, necesarias para su evaluación, varían según la región de campo en que se encuentra [31]. Esto es fundamental determinar a la hora de elegir el método de evaluación indicado (sea de cálculo o medición)

Estas regiones de campo son ilustradas en la **Figura 4.3** y sus propiedades en la **Tabla 4.2**.

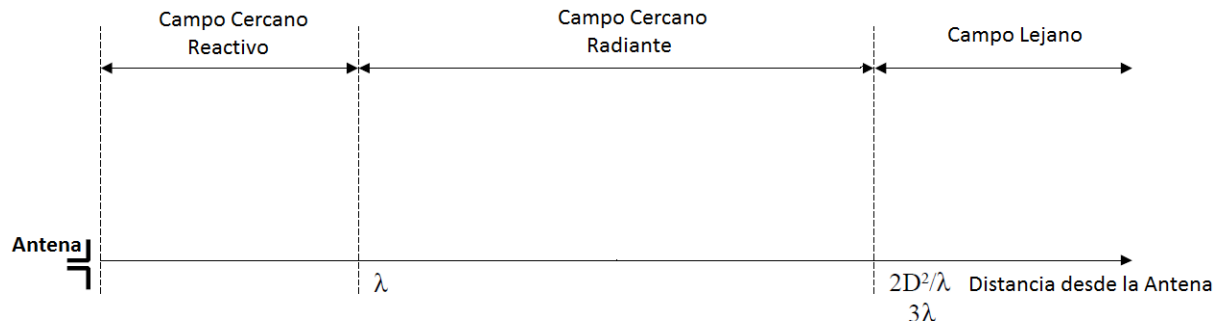


Figura 4.3 Regiones de campo alrededor de una fuente CEM.

Tabla 4.2 Propiedades del CEM en las diferentes regiones de campo.

Propiedad	Campo Cercano Reactivo	Campo Cercano Radiante	Campo Lejano
Límite Interior	0	λ	$\text{Máx}(3\lambda; 2D^2/\lambda)$
Límite Exterior	λ	$\text{Máx}(3\lambda; 2D^2/\lambda)$	∞
$E \perp H$	No	Localmente	Sí
$Z = E/H$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$
Densidad de Potencia S [W/m ²]	$S \leq |E||H|$	$S \leq |E||H|$ $S = \frac{|E|^2}{Z_0} = Z_0|H|^2$	$S \leq |E||H|$ $S = \frac{|E|^2}{Z_0} = Z_0 H ^2$



Donde:

λ Longitud de Onda[m]
 D Dimension Máxima de la Antena [m]
 S Densidad de Potencia [W/m²]
 E Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]
 H Intensidad de Campo Magnético[A/m]
 Z Impedancia[Ω]
 Z_0 Impedancia intrínseca del vacío (377 Ω)

4.1 Métodos de Cálculo

La evaluación de exposición a RNI puede realizarse por medio de cálculos de propagación teórica. Los resultados de estos cálculos pueden predecir cumplimiento o incumplimiento de los límites de exposición en un punto específico, así como verificar el cumplimiento de las instalaciones de telecomunicaciones a las normas de exposición.

El método de cálculo ahorra tiempo, pues permite seleccionar las zonas relevantes antes de cualquier desplazamiento de personal. Además, cuando los cálculos teóricos son suficientemente bajos respecto al límite establecido, puede descartarse la necesidad de mediciones, lo cual acrecienta la importancia de disponer y utilizar herramientas de simulación para reducir las tareas de medición a realizar [7].

Dependiendo de la distancia a la fuente de radiación, diferentes métodos de cálculo pueden ser usados para garantizar la precisión suficiente en los resultados. En general, a menor distancia, deben aplicarse métodos más complejos. Los cálculos son relativamente simples en la región de campo lejano [29].

En muchos casos, los cálculos se hacen en condiciones de espacio libre. Una reflexión desde el suelo o estructuras, como edificios o cercas (especialmente objetos metálicos), puede dar lugar a un incremento en el valor del campo. Para un enfoque conservador, las reflexiones del suelo deben ser tomadas en cuenta [29] [28].

4.1.1 Modelos de Cálculo

La selección de la técnica numérica apropiada depende de los siguientes factores:

1. La región de campo donde se necesita evaluar la exposición
2. Las cantidades que van a evaluarse
3. La topología del entorno donde se produce la exposición.

En base a lo anterior, los modelos de cálculo pueden ser:

- Diferencia Finita en el Dominio del Tiempo (FDTD, *finite-difference time-domain*);
- Región múltiple de Diferencia Finita en el Dominio del Tiempo (MR/FDTD, *multiple-region finite-difference time-domain*)
- Modelo de Trazado de Rayos (*Ray Tracing*)
- Modelo Híbridos de Trazado de Rayos/FDTD (*Ray Tracing/FDTD*), y
- Modelos de antena de Campo Cercano, como:
 - Método de los Momentos (MOM, *method of moments*)
 - Código Electromagnético Numérico (NEC, *numeric electromagnetic code*)



En la **Tabla 4.3** se resumen los criterios de selección de técnicas numéricas

Tabla 4.3 Selección de Técnicas Numéricas. Tabla extraída de [31].

Caso	Región de Campo	Topología	Cantidad Evaluada	Técnica Numérica Adecuada
I	Campo Cercano	Abierta	Campos	FDTD, MOM
II	Campo Cercano	Abierta	SAR	FDTD
III	Campo Cercano	Cerrada, múltiples dispersores	Campos	FDTD, MOM
IV	Campo Cercano	Cerrada, múltiples dispersores	SAR	FDTD, MR/FDTD
V	Campo Lejano	Abierta	Campos	Trazado de Rayos, MOM
VI	Campo Lejano	Múltiples dispersores (Entorno Urbano Complejo)	Campos	Trazado de Rayos

Sin embargo, hay ocasiones en que el método de cálculo no puede ser usado. El escenario de evaluación considerado en esta investigación, cuyo análisis de sitio e identificación de fuentes es detallado en el **Capítulo 6**, presenta una topología abierta y contiene múltiples fuentes RF, cada una conformada por múltiples radiadores, tal y como se muestra en la **Figura 4.4** y la **Figura 4.5**, respectivamente.

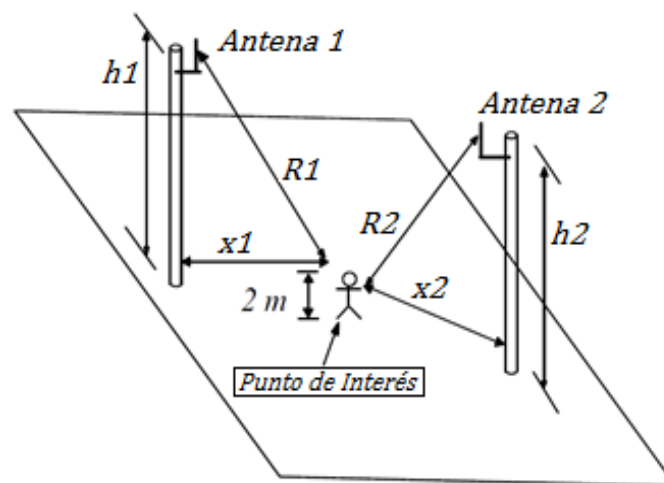


Figura 4.4 Ilustración de escenario con múltiples fuentes RF. Figura modificada de [32].

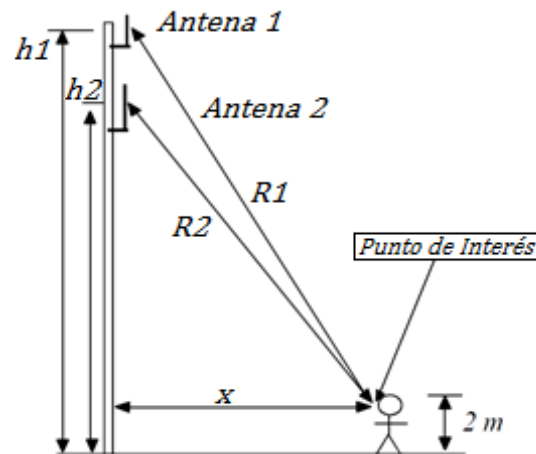


Figura 4.5 Ilustración de fuente RF compuesta por múltiples radiadores. Figura modificada de [32].

Tomando en cuenta la elevada cantidad de fuentes y la escasa información disponible sobre sus sistemas radiantes, la implementación del método de cálculo se dificulta. Debido a la insuficiencia de datos para caracterizar fuentes, y que se trata de un ambiente con número significativo de fuentes, el método de medición de CEM es el método correcto para evaluar la exposición a CEM en El Cruceiro.

4.2 Métodos de Medición

Las mediciones se pueden ejecutar cuando:

- no se cuenta con suficientes datos que caractericen a la fuente [29], por lo cual no se pueden realizar cálculos exactos.
- los campos son difíciles de calcular o los cálculos arrojan valores cercanos al umbral del límite de exposición [28].
- se contemplan ambientes con un número significativo de fuentes de CEM [31].

Las mediciones de RNI, fundamentalmente, son mediciones de intensidad de campo. Sin embargo, deben cumplirse ciertos requerimientos [7]. Tales como:

1. Las cantidades evaluadas deben ser valores RMS [29] [33].
2. La medición debe realizarse isotrópicamente [34].
3. Las cantidades deben ser promediadas espacialmente sobre las dimensiones del cuerpo humano [5].
4. Los niveles obtenidos se deben promediar sobre un tiempo de exposición adecuado [5].
5. Las contribuciones de múltiples fuentes deben ser combinadas matemáticamente para determinar el coeficiente de exposición total [5].

Los dos métodos de medición son expuestos en la **Tabla 4.4**.



Tabla 4.4 Métodos de Medición.

Método de Medición	Descripción	Objetivos de Aplicación
Banda Ancha	Mide la suma de las contribuciones de CEM de todas las fuentes dentro de la banda de frecuencia de interés [29].	<ul style="list-style-type: none">• Cuando solo sea necesario conocer el nivel total de RNI [7].• Cuando no sea necesario conocer las contribuciones independientes de cada fuente [7].
Frecuencia Selectiva	Provee la contribución de cada fuente a la exposición total.	<ul style="list-style-type: none">• Cuando es necesario conocer el nivel de RNI de cada fuente dentro de la banda de frecuencia explorada [7].• Cuando los resultados obtenidos utilizando el método de banda ancha se encuentran cercanos o no demuestran conformidad con los límites de exposición aplicados [7].

El sistema de medición generalmente está compuesto por [35]:

Tabla 4.5 Componentes del sistema de medición.

Componente	Equipo	Método de Medición	Función
Elemento Transductor*	Sonda Isotrópica	Banda Ancha	Evaluar la intensidad de campo E o H isotrópicamente
	Antena Tri-Axial	Frecuencia Selectiva	
Equipo Principal	Unidad de Lectura	Banda Ancha	Medir y mostrar valores de intensidad de campo
	Receptor o Analizador de Espectro	Frecuencia Selectiva	
Posicionamiento	Trípode**	Ambos	Sostener y Posicionar transductor
Equipo Suplementario	Computadora	Frecuencia Selectiva	Automatizar, Controlar, Almacenar y Procesar las Mediciones
Notas: * El tamaño del transductor debe ser menor o comparable a 1λ en la frecuencia más alta. **Debe estar hecho de un material no reflectante o no conductor (plástico o madera), para garantizar desacople entre la sonda y el terreno.			

A continuación se muestran la instrumentación básicas de cada método de medición.

4.2.1 Instrumentación Método de Medición en Banda Ancha

Las sondas proporcionan un voltaje en corriente continua, proporcional a la intensidad de campo medida. Hay 2 tipos de equipos de banda ancha [7] [35]:

- **Sondas con respuesta de frecuencia plana:** Presentan los valores medidos en términos de intensidad de campo o la densidad de potencia equivalente.
- **Sondas con respuesta de frecuencia ponderada:** La intensidad de campo cuadrado se pondera de acuerdo con un estándar de exposición dado, y se obtiene



un porcentaje del límite de exposición. Es decir, se obtiene el coeficiente de exposición total.

En la **Tabla 4.6**, se muestra cómo está conformada una sonda isotrópica de Banda Ancha.

Tabla 4.6 Instrumentación para medición en banda ancha.

Elemento	Clasificación	Funcionamiento
Antenas	Para medir <i>E</i>: Redes de Dipolos Resitivos	Las antenas se disponen de forma que sean mutuamente ortogonales, y así proporcionar lecturas para todas las polarizaciones y direcciones (isotropía).
	Para medir <i>H</i>: Redes de Antenas de Cuadro	
Detectores	Diodos Schootky	Hay detectores separados para c/u de las 3 dimensiones espaciales, detectando así la corriente continua de cada componente espacial para luego combinarlas.
	Termopares	



Figura 4.6 Sonda Isotrópica, compuesta por un conjunto de dipolos cortos.
Figura tomada de [7].

4.2.2 Instrumentación Método de Medición en Frecuencia Selectiva

Las mediciones de RNI pueden realizarse utilizando equipos convencionales de medición de intensidad de campo. En la **Tabla 4.7** se muestra cómo está compuesto un sistema de medición en frecuencia selectiva.



Tabla 4.7 Instrumentación para medición en frecuencia selectiva.

Equipo	Componentes	Descripción
Equipos Convencionales de Medición de Intensidad de Campo*	<ul style="list-style-type: none">• Receptor• Analizador de Espectro	Realiza la medición del campo eléctrico a la salida de la antena para cada componente espacial.
Antena Triaxiales (3 antenas cortas ortogonales)	<ul style="list-style-type: none">• Dipolos• Antenas de Cuadro	
Controlador Externo	Computadora	<ul style="list-style-type: none">• Controlar la conmutación entre antenas• Recopilar datos de mediciones• Post-procesamiento datos de mediciones (cálculo coeficiente de exposición total)• Elaborar resultados e informes

Nota:
* El software de control del receptor o analizador es fundamental debido a la gran cantidad de datos que deben recopilarse. El software debe permitir corregir factores de antena y pérdidas del cable en el rango de frecuencias de interés.

Es recomendable utilizar software de automatización que permita diversos ajustes de conformidad con los servicios sujetos a comprobación técnica [7].

Ejemplo de una antena triaxial y un sistema de medición en frecuencia selectiva con controlador son mostrados en la **Figura 4.7** y **Figura 4.8**, respectivamente.



Figura 4.7 Antena triaxial de monopolos cortos. Figura extraída de [7].

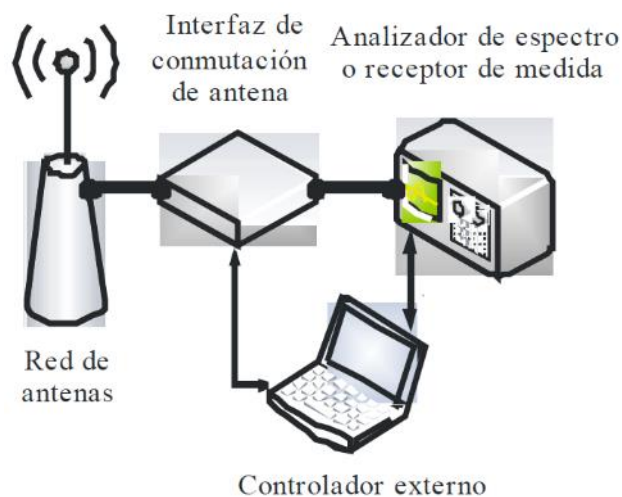


Figura 4.8 Diagrama del Sistema de Medición Frecuencia Selectiva, incluyendo un controlador externo. Figura extraída de [7].



Comparación de los Métodos de Medición

Tabla 4.8 Comparación entre Medición Banda Ancha y Frecuencia Selectiva.

Criterio	Medición en Banda Ancha	Medición en Frecuencia Selectiva
Fuentes en Evaluación	Múltiples Fuentes (Fuentes dentro de una banda de frecuencia)	1 Fuente a la vez
Datos Requeridos de la Fuente	Ninguno	<ul style="list-style-type: none">Frecuencia Central (Portadora)Ancho de Banda (Portadora)
Instrumento de Medición	Sonda Isotrópica + Lector de Medida	Antena + Receptor o Analizador de Espectro + PC/Laptop con Software Especializado
Tiempo de Proceso de Medición	Un solo tiempo de evaluación T para toda la banda de frecuencias medida	Un tiempo de evaluación T por cada fuente medida
Tipo de Resultado	<ul style="list-style-type: none">Único Valor (E, H o S) RMS para toda la BandaTotal Porcentaje del Límite Exposición (Coeficiente Exposición Total)	Múltiples Valores (E , H o S) RMS por Fuente
Límite de Exposición Usado	Solo se puede usar 1 límite de exposición (el valor más restrictivo dentro de la banda de frecuencia evaluada) [34].	Permite usar diferentes límites de exposición para distintos rangos de frecuencia.

4.2.3 Estaciones de Monitoreo Continuo

Una estación de monitoreo continuo funciona de manera autónoma. Se puede utilizar para realizar mediciones por medio de Banda Ancha o Frecuencia Selectiva, ya que dispone sondas isotrópicas de banda ancha o antenas tri-axiales + medidores de intensidad de campo, junto con subsistemas de soporte como [7]:

- **Sistemas especiales de suministro de energía:** garantiza el funcionamiento de la estación de monitoreo.
- **Sistema Almacenamiento de Datos y Unidad de Control:** Registra los resultados de las mediciones como una función del tiempo.
- **Interfaz de Comunicación:** Presenta los resultados vía internet, a fin de que sean accesibles al público en general [29].

Las estaciones de monitoreo continuo no evitan, por su gran tamaño, tener que disponer de dispositivos portátiles para caracterizar adecuadamente un emplazamiento.



4.2.4 Método de Medición por Sondeo Vertical

Este método permite evaluar las variaciones de campo electromagnético en función de la altura sobre el suelo [36]. Para ello se requiere un vehículo especial equipado a como se indica en la **Tabla 4.9** [36]:

Tabla 4.9 Equipos en vehículo especial para medición por sondeo vertical.

Equipo	Función
Mástil Retractable*	<ul style="list-style-type: none">• Elevar sobre su eje vertical una antena de medición
Antena Receptora	<ul style="list-style-type: none">• Medir la Intensidad de Campo
Receptor**	
Sistema de Posicionamiento Global	<ul style="list-style-type: none">• Obtener coordenadas geográficas de los puntos de medición
Computadora	<ul style="list-style-type: none">• Procesar datos medidos por el receptor• Registrar coordenadas geograficas
Fuente de Poder Independiente	<ul style="list-style-type: none">• Alimentar los equipos
Notas: * El mástil debe estar conectado a través de una interfaz adecuada a la computadora. ** Debe contar con: Alto Rango Dinámico Buena Compatibilidad Electromagnético Robustez y Estabilidad cuando esté sujeto a vibraciones y variaciones de temperatura	

Cuando la antena receptora se orienta correctamente en la dirección del transmisor, el mástil es elevado y una muestra de voltaje recibido se adquiere para cada paso regulado de elevación (típicamente 20cm), ndo así una Técnica de Variabilidad de Espacio. Estas mediciones proveerán un nivel de intensidad de campo resultado de la combinación de los rayos directos y los reflejados [36].

4.3 Resumen

El mejor enfoque es implementar inicialmente el método más sencillo (sea medición o cálculo) con la menor precisión y, preferiblemente, de alta sobreestimación. Si los niveles de exposición parecen estar cerca de los límites de exposición, a continuación se deben utilizar métodos más sofisticados (complejos) [29].

La **Figura 4.9** muestra un flujograma de las posibles actividades durante una evaluación de exposición.

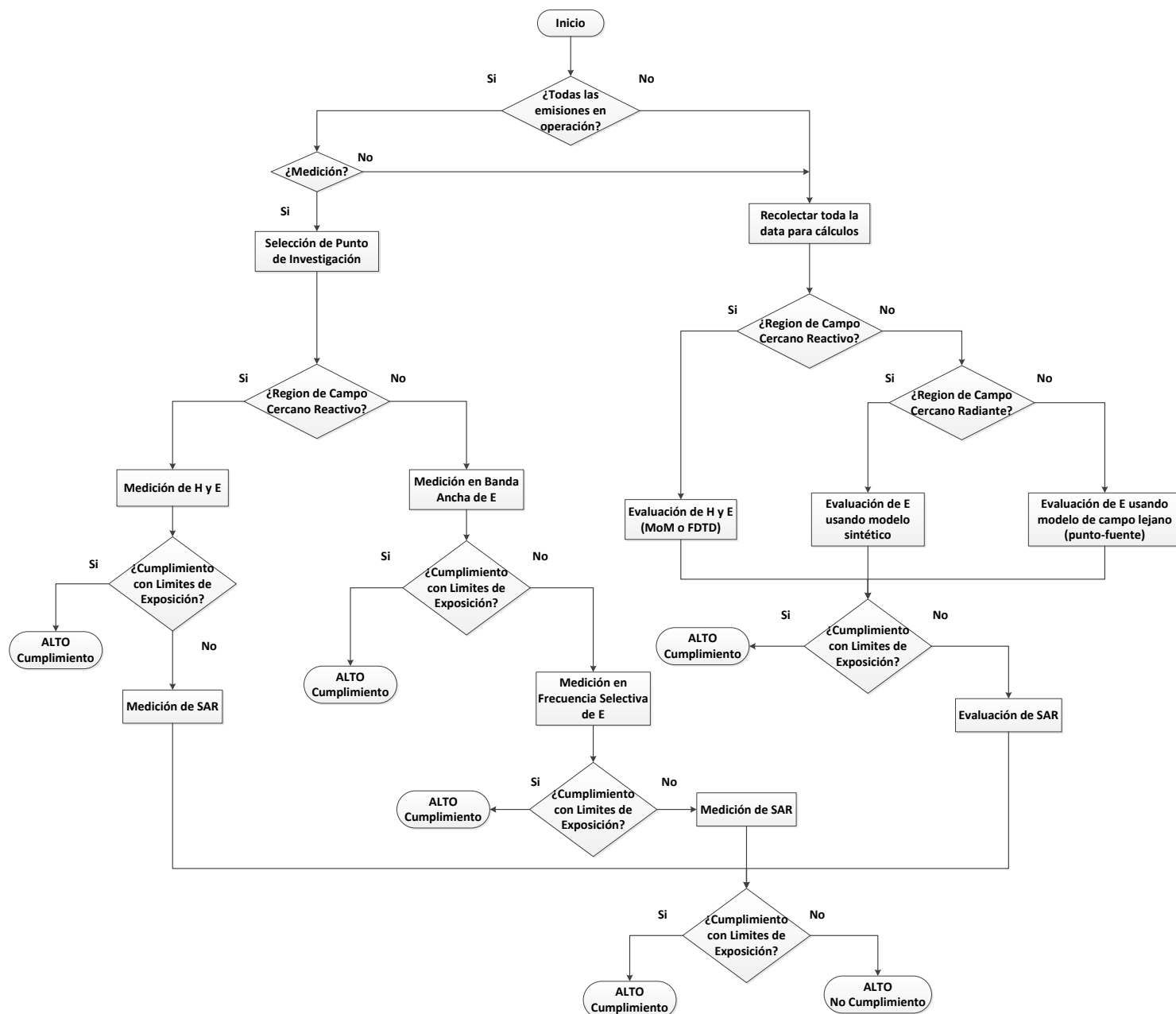


Figura 4.9 Diagrama de Bloques del procedimiento de evaluación de la exposición. Figura extraída de [29].

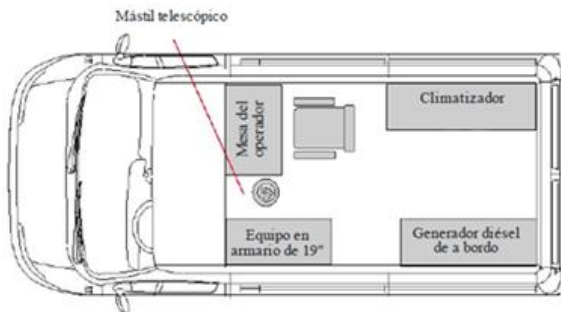
5. Equipos de Medición Utilizados

Este capítulo describe específicamente el sistema de medición disponible para esta investigación, el cual consiste en equipos convencionales instalados en las unidades móviles de comprobación técnica de TELCOR. En la **Tabla 5.1** se enlistan los equipos con que cuentan estas unidades. Y, en la **Figura 5.1** se muestran ejemplos de estaciones móviles de comprobación técnica similares.

Tabla 5.1 Descripción básica de equipos en unidades móviles de monitoreo.

Componente	Cantidad	Equipos
Unidad Móvil de Monitoreo (Vehículo 4x4 Station Wagon)	2	<ul style="list-style-type: none"> • Receptor de Monitoreo R&S ESMB, para el rango 20 MHz – 3GHz • Antena de Goniometría ADD190 en polarización vertical, para el rango 20 MHz – 1300 MHz • Selector de antena R&S@ZS 127. • Mástil retráctil para antenas, con altura máxima de 4 metros. • Computadora <ul style="list-style-type: none"> ○ Sist. Operativo Windows NT ○ Software de Monitoreo, Medición y Goniometría ARGUSMON 4.3 • GPS

Estos equipos son alimentados por una batería independiente.



a)



b)



Figura 5.1 a) Interior de una estación móvil de comprobación técnica³².

b) Ejemplos de estaciones móviles de comprobación técnica.

Para llevar a cabo las mediciones utilizando estos equipos, es necesario realizar un adecuado análisis del sitio considerando seleccionar los puntos de investigación a lo largo de carreteras o de tal forma que sean accesibles para este tipo de vehículo [36].

³² Figuras extraídas de: Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Requisitos que ha de cumplir el vehículo,» de *Manual de Comprobación Técnica del Espectro*, Ginebra, 2011, p. 49.

5.1 Receptor: R&S®ESMB Monitoring Receiver

El R&S®ESMB es un receptor de monitoreo que opera en la banda de frecuencias de 20 MHz a 3 GHz. Este es mostrado en la **Figura 5.2**.



Figura 5.2. Receptor de monitoreo R&S®ESMB.

Dentro de sus aplicaciones se encuentran [37]:

- Detección de señal
- Búsqueda de señal en el modo de frecuencia y modo de exploración en memoria
- Medición de ocupación del espectro
- Análisis de RF e IF
- Mediciones de Cobertura
- Medición de intensidad de campo

La aplicación a utilizar para esta investigación será la medición de intensidad de campo. Esta aplicación se encuentra en cumplimiento con la UIT-R SM.378, que recomienda criterios de desempeño como ³³:

- excepto cuando existan limitaciones debidas al nivel de ruido en el receptor, ruido atmosférico e interferencias externas, las mediciones deben tener una precisión de:

Banda de Frecuencias	Precisión de Medición (dB)
9 kHz to 30 MHz	±2
30 MHz to 3 GHz	±3

- el receptor de medición, cuando se controla de forma computada, puede ser utilizado para automatizar mediciones y almacenar y analizar datos.

Las demás características técnicas del equipo de medición se presentan en la **Tabla 5.2**.

³³ International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.378-7: Field-strength measurements at monitoring stations, Geneva, 2007.



Tabla 5.2 Características técnicas del Receptor R&S®ESMB. Datos obtenidos de: [37].

Características Técnicas	
Rango de Frecuencias	20 MHz a 3 GHz
Tiempo de Ajuste del Sintetizador	$\leq 3\text{ ms}$, típicamente 1 ms
Impedancia de entrada de antena	Socket N, 50Ω
Sensibilidad (rango VHF/UHF): Figura de Ruido en Conjunto	$\leq 12\text{ dB}$, típicamente 9 dB
Control de Ganancia	AGC (120 dB)
Rango de Amplitud (en medición de intensidad)	$-30\text{ dB}\mu\text{V}$ a $110\text{ dB}\mu\text{V}$
Error (en medición de intensidad)	típicamente $\pm 1\text{ dB}$ (rango VHF/UHF)

Este equipo de medición no efectúa una combinación de las contribuciones de cada fuente medida, por lo que no es apto para ser utilizado en el Método de Banda Ancha. El método de medición que puede implementarse con este equipo es el Método de Frecuencia Selectiva.

El R&S®ESMB puede ser controlado remotamente mediante la implementación del software de control, que permita configurar y ejecutar de forma automatizada todas las aplicaciones y funciones del receptor. Para esto, el receptor se conecta a la computadora en la estación de monitoreo mediante un cable serial RS-232. En la **Figura 5.3** se muestra un esquema con las diferentes etapas del receptor.

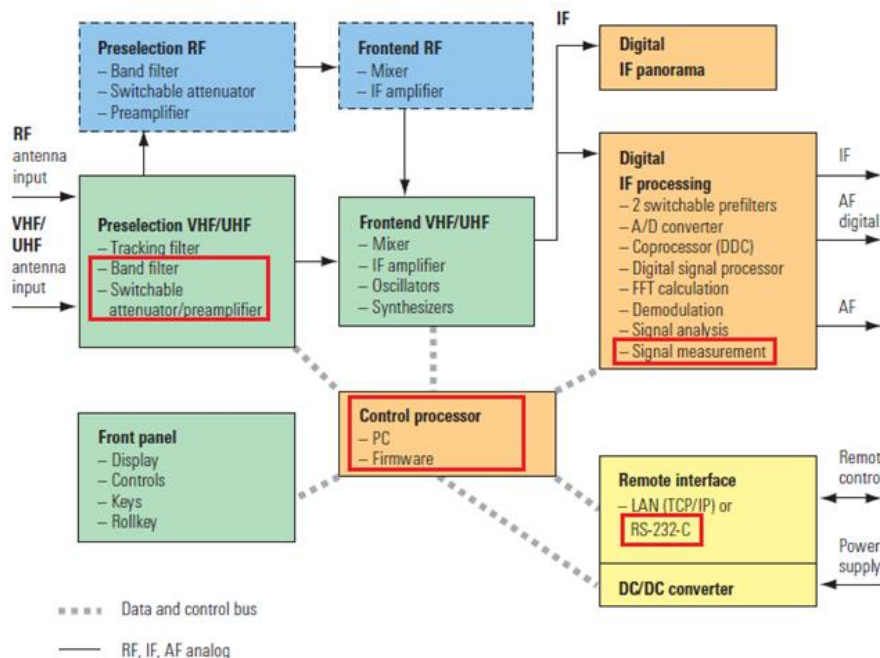


Figura 5.3 Diagrama de bloques del Receptor de Monitoreo R&S®ESMB. Figura modificada de: [37].

Para esta investigación la función de medición de intensidad de campo ('Signal Measurement') fue configurada y automatizada por medio del software de control y monitoreo R&S ARGUS Mon.

5.2 Antena: R&S®DF Antenna ADD 190

La ADD 190 está diseñada especialmente para aplicaciones de radiogoniometría (determinación de dirección), operando en el rango de frecuencias de 20 MHz a 1.3 GHz.



Figura 5.4 a) Antena goniométrica ADD 190 abierta.
b) Antena ADD 190 instalada en el techo una unidad móvil de comprobación técnica.

La antena esta compuesta por un arreglo circular de nueve dipolos activos altamente lineales de aproximadamente 0.2 m de longitud, arreglados en un círculo con un diámetro de 0.91 m. Garantizando de esta forma la recepción omnidireccional de ondas de campo E polarizadas verticalmente [38].

Las características técnicas de la ADD 190 son mostradas en la **Tabla 5.3**.

Tabla 5.3 Características técnicas de antena R&S®DF ADD 190. Datos obtenidos de: [38].

Características Técnicas		
Rango de Frecuencias	20 a 1300 MHz	
Tipo de Antena	Arreglo circular de 9 elementos para procesamiento de señal con un único receptor, diámetro de antena 0.91 m.	
Polarización	Vertical	
Impedancia Nominal	50 Ω	
Sensibilidad de Intensidad de Campo ($B = 1 \text{ kHz}$) ²	20 a 512 MHz	4.5 $\mu\text{V/m}$ to 0.3 $\mu\text{V/m}$ typ.
	512 MHz a 1.3 GHz	2.5 $\mu\text{V/m}$ to 0.8 $\mu\text{V/m}$ typ.
Factor de Antena	20 a 512 MHz	36 to 7.5 m^{-1} (31 to 17.5 dBm^{-1}) typ.
	512 MHz a 1.3 GHz	11 to 3 m^{-1} (21 to 9.5 dBm^{-1}) typ.
Ganancia (en función del F.A.)	20 a 512 MHz	-34.76 dBi a 6.91 dBi typ.
	512 MHz a 1.3 GHz	3.41 dBi a 23 dBi typ.
Linealidad	20 a 512 MHz	IP2: 50 dBm typ. IP3: 25 dBm typ.
	512 MHz a 1.3 GHz	IP2: 30 dBm typ. IP3: 30 dBm typ.

5.3 Selector de Antena: R&S®ZS 127

Esta unidad puede conmutar de forma dinámica la conexión entre 6 distintas antenas y el receptor. Opera en el rango de frecuencias desde DC hasta 3 GHz. Puede ser operada de forma manual mediante su panel de control o utilizando un software controlador por medio de un cable serial RS-232. En la **Figura 5.5** se muestra el selector R&S®ZS 127.



Figura 5.5 Switch selector de antena R&S®ZS 127.

5.4 Software Controlador: R&S® Argus Mon 4.3

El software de monitoreo R&S ARGUS Mon comprende numerosas instalaciones para medición, seguimiento y radiogoniometría para estaciones fijas tripuladas o no tripuladas y para estaciones móviles y transportables [39].

Se utiliza como software controlador de equipos en estaciones de comprobación técnica, tanto fijas como portátiles. El computador que ejecuta el software se conecta al Receptor ESMB y al switch de antena por medio de cable serial. Esto permite operarlos remotamente, automatizar las mediciones y analizar los datos obtenidos. En la **Figura 5.6** se muestra un diagrama simbolizando la interconexión entre los dispositivos y el software.

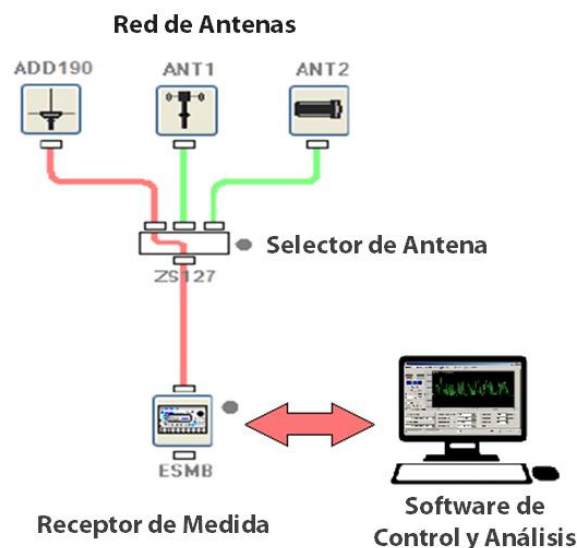


Figura 5.6 Diagrama de interconexión de los dispositivos y el software controlador.

El GPS de la estación también es conectado al computador y software. De esta forma todas las mediciones realizadas con la estación son georreferenciadas.



Modos de Medición

Diferentes modos de medición se pueden implementar para realizar las diversas actividades de monitoreo, medición y goniometría. Estos modos de medición son [40]:

- Modo de Medición Directa (DMM)
- Modo de Medición Interactiva (IMM)
- Modo de Medición de Rodamiento (BMM)
- Modo de Medición Automática (AMM)
- Modo de Medición Síncrono (SYNC)
- Modo de Medición Paralelo (PAR)
- Modo de Medición Digital (DM)
- Modo de Medición Guiada (GMM)
- Modo de Medición de Cobertura (CMM)
- Modo de Medición de Pulsos (PMM)

Para configurar y automatizar las mediciones realizadas durante esta investigación fue implementado el Modo de Medición Automático, ya que permite crear una lista de frecuencias a medir y obtener automáticamente un registro numérico de los niveles medidos para cada frecuencia, con el fin de conocerlos y combinar sus contribuciones para determinar la exposición a múltiples fuentes. El procedimiento de configuración de este modo de medición es presentado en el **Anexo B**.



6. Guía de Medición de CEM

Este capítulo describe, a manera de guía de medición, los procedimientos para determinar el cumplimiento de los límites de exposición pertinentes en un punto específico, a través de mediciones In-Situ. Estos procedimientos son planteados, tanto en carácter general para su reproducibilidad, como aspectos específicos para la evaluación de exposición en el sitio de investigación El Crucero, utilizando los equipos disponibles por TELCOR en sus unidades móviles.

El procedimiento para realizar las mediciones de CEM está basado en el estándar europeo EN 50492 'Estándar Básico para la Medición In-Situ de Intensidad de Campo Electromagnético Relacionado a Exposición Humana en el Proximidad de Estaciones Base'. En la **Figura 6.1** se muestra el procedimiento general presentado como flujograma. Cada etapa de este será analizada.

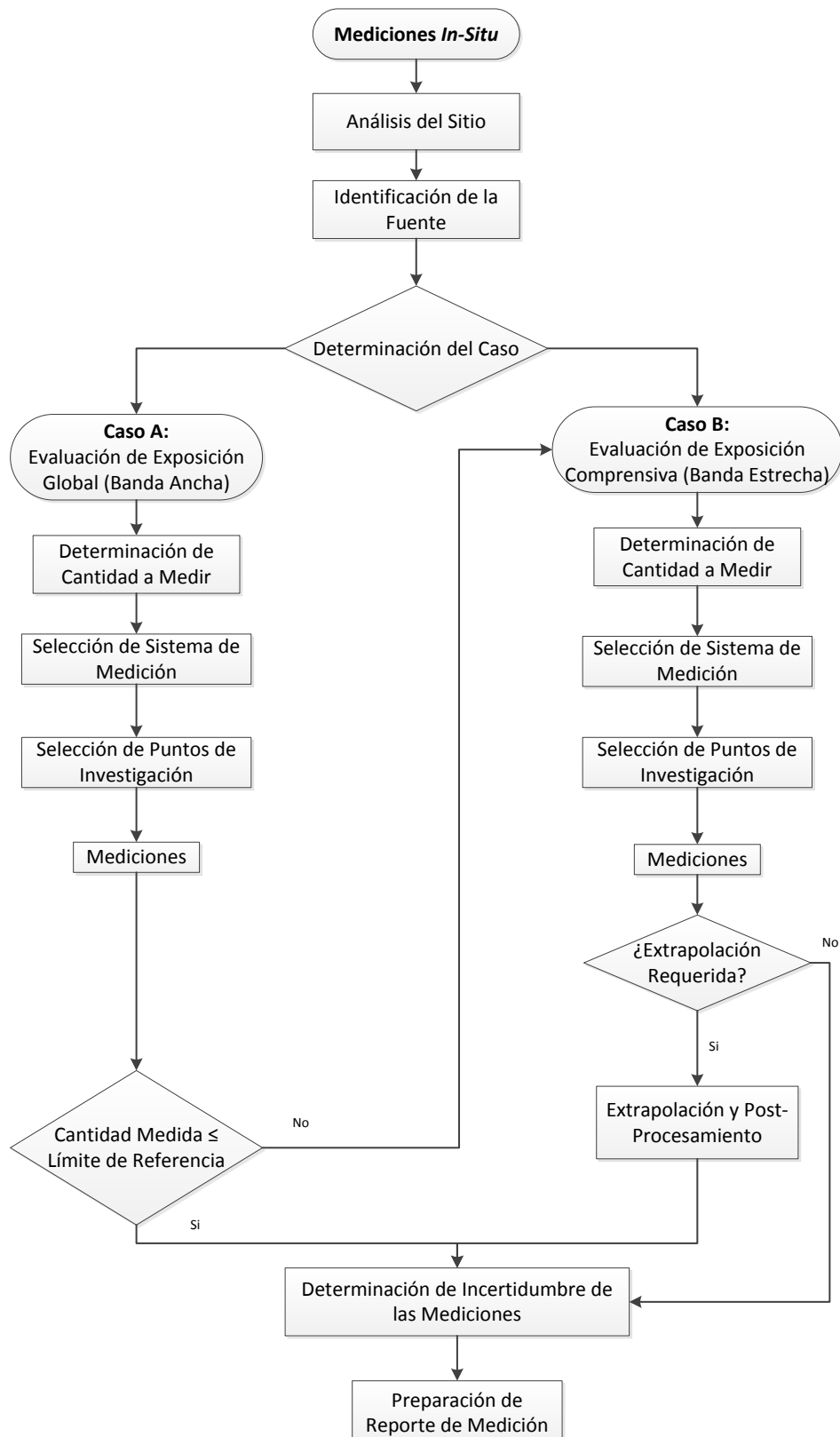


Figura 6.1 Rutas Alternativas para la determinación In-Situ de CEM para la evaluación de exposición humana. Figura basada en [41].



6.1 Análisis del Sitio

Este análisis de sitio incluye determinar:

- Cantidad de fuentes de CEM
- Topología y población del sitio
- Probabilidad de exposición de la población a dichas fuentes.

De esta forma se caracteriza el sitio, facilitando así simulaciones o cálculos como los descritos en el **Inciso 4.1**.

6.1.1 Análisis del Sitio de Medición El Crucero

Las áreas más pobladas del municipio El Crucero se encuentran en la comarca y el casco urbano del municipio El Crucero, conformado por los barrios: Carlos Fonseca, El Chorizo (Manuel Moya), Luis Alfonso Velásquez, Edgar Lang, Juan José Quezada, Jonathan González, Juan Dávila y San Ramón.

Según el censo realizado en el 2005, tiempo en el cual no existían como tal los barrios Juan Dávila y San Ramón, la población total del casco urbano ascendía a 4,012 personas, y la comarca El Crucero a 1,392, representando el 39.5% (5,404 personas) de la población total (13,656 personas) del municipio El Crucero. Además, son las áreas más densamente pobladas del municipio³⁴. Por lo expuesto anteriormente, los sitios en que nos enfocaremos será el casco urbano, omitiendo el barrio Juan Dávila y San Ramón, y parte de la Comarca El Crucero.

El casco urbano de El Crucero no tiene edificios de altura considerable. Y, al estar ubicado en la parte más alta del municipio, no contiene mas elevaciones geográficas que sirvan como obstrucción a la propagación de CEM. Por esto se afirma que es un sitio de topología abierta.

6.2 Identificación de las Fuentes

Para identificar todas las emisiones RF existentes en la banda de frecuencia de interés, pueden implementarse los métodos presentados en la **Tabla 6.1** [35].

Tabla 6.1 Métodos de Identificación de Fuentes.

Método	Descripción	Dato a Adquirir
Inspección Visual	Consiste en hacer una visita de campo al sitio determinado, para identificar los emplazamientos visibles.	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación de Emplazamiento• Determinar categoría de accesibilidad a emplazamiento*• Clasificar los emplazamientos según el servicio**
Consulta de Base de Datos	Consultar bases de datos de licencias o permisos de operación en registros del ente regulador de	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación Exacta de Emplazamiento• Frecuencia de Operación• Potencia de Transmisión

³⁴ Instituto para el Desarrollo Sostenible, Estudio de Tendencias de Composición, Crecimiento y Distribución Territorial de la Población Municipio El Crucero, Managua, 2011.



	telecomunicaciones, instituciones afines, u operadores.	<ul style="list-style-type: none">Otras características técnicas
Escaneo de Frecuencia Selectiva	Escaneo del espectro radioeléctrico entre 100 kHz – 6 GHz, en el sitio, usando un analizador de espectro o receptor.	<ul style="list-style-type: none">Determinar cantidad de portadoras (fuentes) presentesDeterminar Frecuencia y Ancho de Banda de Operación de cada portadora
Notas: * Esto para comparar con las categorías de accesibilidad que menciona la UIT-T K.52, para cálculo de $EIRP_{th}$. ** Es recomendable tener conocimiento previo de la apariencia física de las instalaciones de fuentes RF de interés para la investigación. Por ejemplo: <ul style="list-style-type: none">Cuando el objetivo es identificar las fuentes RF en la banda de servicios de radiodifusión FM: El inspector de campo puede buscar emplazamientos que contengan arreglos de antena conformados por varios elementos radiadores expuestos. (e.g. 4 o más dipolos de media onda), ya que es como típicamente se encuentran instalados estos sistemas.Cuando el objetivo es identificar las fuentes RF en la banda de servicios de Televisión Abierta: El inspector de campo deberá localizar emplazamientos con arreglos de antenas estilo <i>turnstile</i> o antenas con arreglos apilados (<i>stacked arrays</i>) que bien pueden ser del tipo expuesto o no expuesto (encerrado en paneles).		

6.2.1 Identificación de Fuentes en El Crucero

El propósito de la investigación es conocer los niveles de exposición de RNI debido a las estaciones de radiodifusión FM y teledifusión. Por lo tanto, las fuentes a determinar son las estaciones FM y TV (VHF y UHF).

La Normativa Técnica No. NON – BC – 001 – 2000 establece la banda de frecuencia 88 MHz – 108 MHz destinada al servicio de Radiodifusión Sonora FM, y la Normativa Técnica NON – TV – 001 – 2003, con su debida modificación por el Acuerdo Administrativo 007 – 2005, establece la banda de frecuencias 54 MHz – 216 MHz (**Canales 2 a 13**), y 470 MHz – 698 MHz (**Canal 14 al 51**) para televisión VHF y UHF, respectivamente.

Para la identificación de las fuentes de RF instaladas en El Crucero, que operan en las bandas de frecuencias mencionadas anteriormente, se consultaron 4 fuentes de información distintas:

- Bases de Datos en Línea:** Licencias de operación vigentes disponibles en la página web de TELCOR.
- Inspección Visual:** Visitas de campo al municipio El Crucero.
- Consulta a Personal Técnico de Estaciones de Radio y Televisión y pobladores.**
- Verificación Rápida por Escaneo Selectivo en Frecuencias:** Este procedimiento se realizó en un punto céntrico del sitio. La ubicación de este punto se muestra en la **Figura 6.2**. Cabe recalcar que el objetivo de esta verificación es comprobar las fuentes presentes en el sitio y determinar el rango de frecuencias a medir.

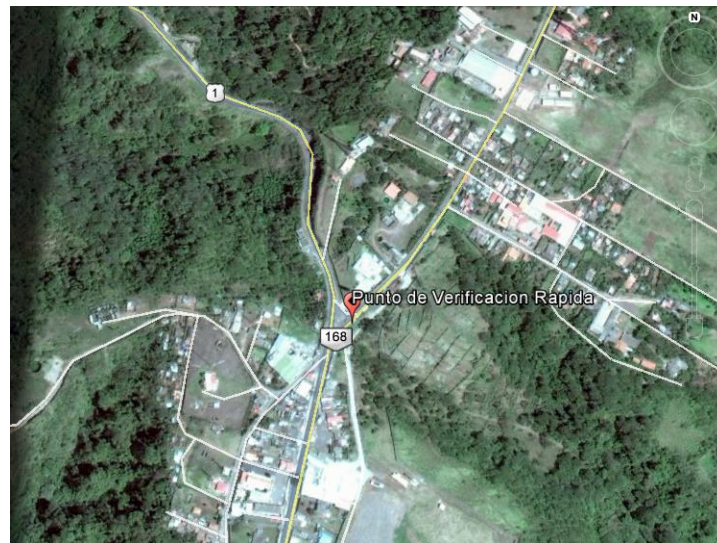


Figura 6.2 Punto céntrico donde se realizó la verificación rápida por escaneo de frecuencia selectiva para la identificación de fuentes (11°59'31.34"N, 86°18'32.43"W).

Los resultados de la verificación rápida son mostrados a continuación en las **Figuras 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7.**

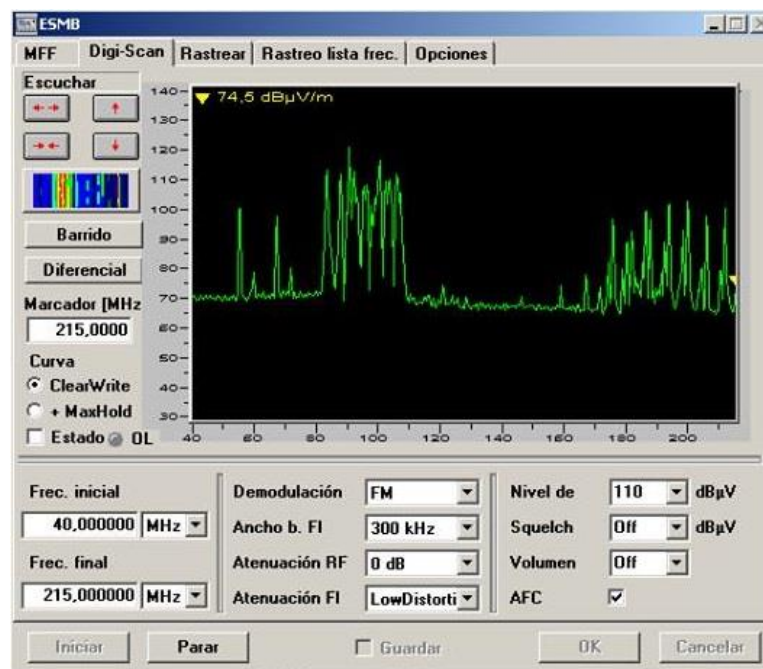


Figura 6.3 Escaneo de frecuencias de 40 MHz a 215 MHz abarcando los Canales de TV 2, 4 y 6; el rango de frecuencias de radiodifusión FM y los Canales 8, 10 y 12.

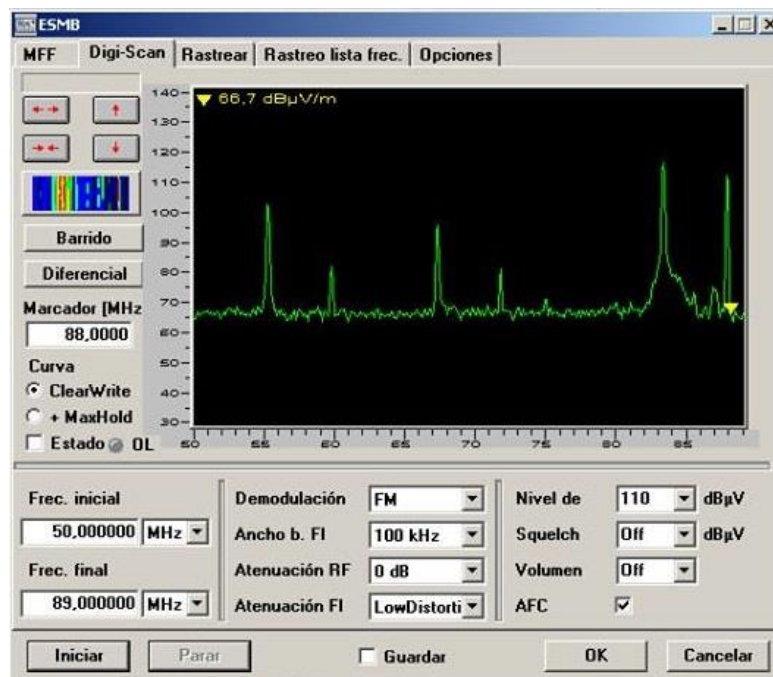


Figura 6.4 Escaneo de frecuencias de 50 MHz a 89 MHz abarcando los Canales de TV 2, 4 y 6 con sus portadoras de audio y video.

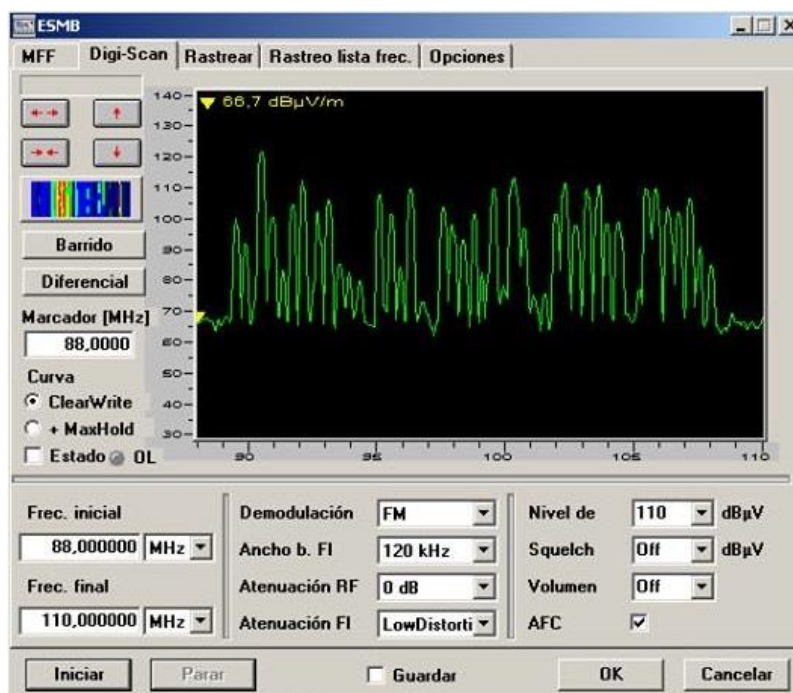


Figura 6.5 Escaneo de frecuencias de 88 MHz a 110 MHz abarcando las frecuencias de radiodifusión FM con sus portadoras de audio.

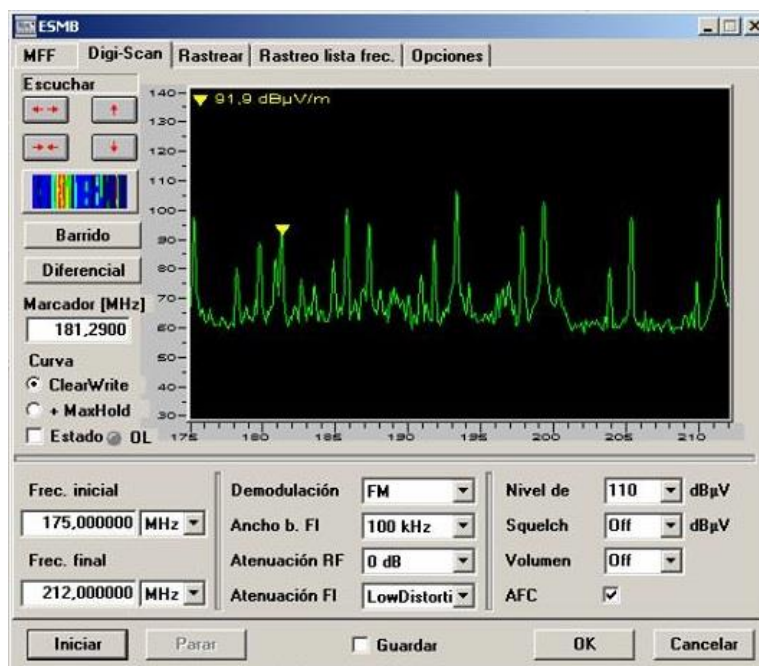


Figura 6.6 Escaneo de frecuencias de 175 MHz a 212 MHz abarcando los Canales de TV 8, 10 y 12 con sus portadoras de audio y video.

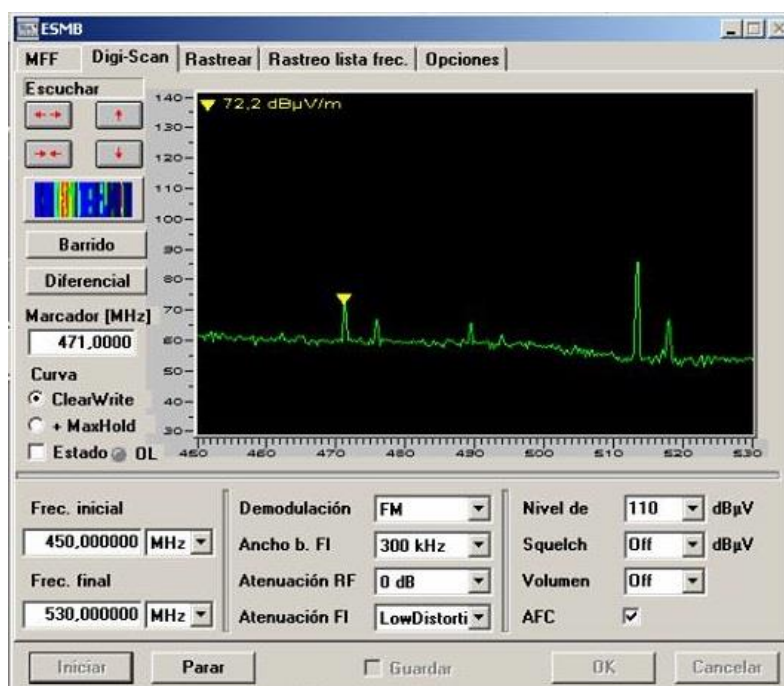


Figura 6.7 Escaneo de frecuencias de 450 MHz a 530 MHz abarcando los Canales de TV 14 y 21 con sus portadoras de audio y video.

En base a las fuentes de información consultadas anteriormente se identificaron 37 operadores de Radiodifusión Sonora FM y 8 de Televisión Abierta VHF/UHF, con transmisor principal en El Crucero. Se elaboró una base de datos con la ubicación exacta de estos, los cuales se muestran en la **Tabla 6.2** y **Tabla 6.3**. La **Figura 6.8** presenta la ubicación en Google Earth de cada fuente identificada.

En el **Anexo C** se presenta mayor información de las fuentes identificadas durante esta investigación.



Tabla 6.2 Operadores FM.

ESTACIONES EMISORAS DE RADIODIFUSION FM				
Ítem	MHz	Número de Canal	Coordenadas Transmisor Principal	
			Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)
1	89.5	208	86°18'10.10"	11°59'53.98"
2	89.9	210	86°18'2.15"	11°59'53.96"
3	90.5	213	86°18'37.05"	11°59'31.24"
4	90.9	215	86°18'2.15"	11°59'53.96"
5	91.3	217	86°17'6.19"	12° 0'27.45"
6	91.7	219	86°18'20.15"	11°59'44.94"
7	92.1	221	86°18'29.48"	11°59'43.32"
8	92.7	224	86°18'23.74"	11°59'40.05"
9	93.1	226	86°18'20.15"	11°59'44.94"
10	93.5	228	86°18'2.15"	11°59'53.96"
11	93.9	230	86°17'8.61"	12° 0'30.46"
12	94.3	232	86°17'38.94"	12° 0'10.66"
13	94.7	234	86°18'23.85"	11°59'38.46"
14	95.1	236	86°18'20.15"	11°59'44.94"
15	95.5	238	86°18'29.48"	11°59'43.32"
16	95.9	240	86°18'29.48"	11°59'43.32"
17	96.3	242	86°18'2.15"	11°59'53.96"
18	97.5	248	86°18'25.10"	11°59'39.41"
19	97.9	250	86°18'2.15"	11°59'53.96"
20	98.3	252	86°17'7.29"	12° 0'30.22"
21	98.7	254	86°18'20.15"	11°59'44.94"
22	99.9	260	86°17'41.06"	12° 0'8.06"
23	100.7	264	86°18'2.15"	11°59'53.96"
24	101.5	268	86°17'7.71"	12° 0'30.81"
25	102.3	272	86°18'23.85"	11°59'38.46"
26	102.7	274	86°18'29.48"	11°59'43.32"
27	103.5	278	86°18'22.99"	11°59'38.34"
28	103.9	280	86°18'2.15"	11°59'53.96"
29	104.3	282	86°17'58.56"	11°59'54.87"
30	104.7	284	86°16'10.16"	12° 0'48.95"
31	105.1	286	86°17'7.29"	12° 0'30.22"
32	105.9	290	86°18'21.15"	11°59'38.73"
33	106.3	292	86°18'2.15"	11°59'53.96"
34	106.7	294	86°18'29.48"	11°59'43.32"
35	107.1	296	86°18'2.15"	11°59'53.96"
36	107.9	300	86°18'10.51"	11°59'52.90"

Tabla 6.3 Operadores TV.

ESTACIONES EMISORAS DE TELEDIFUSION					
Ítem	MHz		Emisora	Coordenadas Transmisor	
	Video	Audio		Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)
1	55.25	59.75	Canal 2	86°18'20.15"	11°59'44.94"
2	67.25	71.75	Canal 4	86°18'3.62"	11°59'53.91"
3	83.25	87.75	Canal 6	86°18'37.05"	11°59'31.24"
4	181.25	185.75	Canal 8	86°18'32.13"	11°59'39.32"
5	193.25	197.75	Canal 10	86°18'2.15"	11°59'53.96"
6	205.25	209.75	Canal 12	86°18'29.48"	11°59'43.32"
7	471.25	475.75	Canal 14	86°17'50.46"	11°59'58.23"
8	513.25	517.75	Canal 21	86°18'10.10"	11°59'53.98"

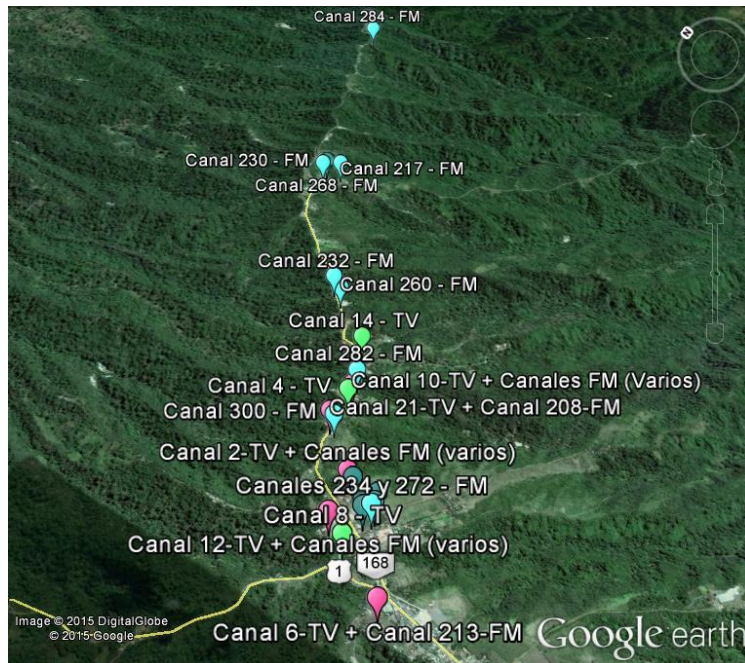


Figura 6.8 Localización de fuentes pertinentes en El Crucero.

6.3 Determinación del Método de Medición

La determinación del método de medición puede realizarse basándose en los objetivos de la evaluación, y los objetivos de los métodos de medición mostrados en la **Tabla 4.4**. Para facilitar esta determinación, pueden utilizarse las situaciones típicas que plantea la recomendación UIT-T K.61 [31]:



Tabla 6.4. Escenarios típicos de evaluación y caso de medición correspondiente según objetivos de la evaluación.

Escenario	Descripción	Objetivo de Evaluación	Condición a Evaluar	Método de Medición
I	Se conoce la fuente de CEM, y algunas de sus características. El CEM de otras fuentes es insignificante.	Determinar las zonas de conformidad para la fuente conocida.	$E_{med} \leq E_{lim}$	Frecuencia Selectiva
II	Las fuentes de CEM no son conocidas.	Determinar conformidad en una ubicación en particular	$W_t = \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$	Banda Ancha
III	-	Determinar conformidad en una ubicación en particular	$W_t = \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$	Banda Ancha
		Si se demuestra incumplimiento, determinar la contribución relativa de cada fuente a esa no-conformidad	$W_t = \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$	Frecuencia Selectiva

La determinación del Método de Medición es requerida para poder seleccionar el Equipo de Medición.

6.3.1 Método de Medición Seleccionado para El Crucero

Para la determinación del método de medición de esta investigación, se realiza nuevamente una comparación de la situación en El Crucero con los escenarios planteados en la **Tabla 6.4**, considerando los equipos de medición disponibles. Esta comparación se presenta en la **Tabla 6.5**.

Tabla 6.5 Determinación del caso de evaluación en El Crucero.

Escenario	Descripción	Objetivo	Caso El Crucero	Aplica
I	<ul style="list-style-type: none"> Se conoce la fuente de CEM, y algunas de sus características. El CEM de otras fuentes es insignificante. 	Determinar zona de conformidad para la fuente conocida	<ul style="list-style-type: none"> Se analizará más de una fuente de CEM. Se evaluará el cumplimiento de los límites de exposición en locaciones particulares debido a múltiples fuentes, y no las zonas de conformidad de una fuente en específico. 	No
II	<ul style="list-style-type: none"> Las fuentes de CEM no son conocidas. 	Determinar cumplimiento en una locación en particular	<ul style="list-style-type: none"> Las fuentes de CEM son conocidas Se desea determinar el cumplimiento de los límites de exposición en locaciones particulares 	Parcialmente
III	<ul style="list-style-type: none"> Determinar cumplimiento en locaciones particulares Si se demuestra incumplimiento, determinar la 	-	<ul style="list-style-type: none"> Se desea determinar el cumplimiento de los límites de exposición en locaciones particulares. Los equipos de medición disponibles son aptos solamente para mediciones 	Totalmente



	contribución relativa de cada fuente a esa no-conformidad		en frecuencia selectiva, por lo cual sí se puede determinar cumplimiento y la contribución relativa de cada fuente a la exposición total.	
--	---	--	---	--

Con el objetivo de determinar cumplimiento en locaciones particulares, y considerando la limitante de equipos disponibles, se implementará el **Método de Medición en Frecuencia Selectiva** combinando la contribución relativa de las fuentes a la exposición total, por medio de un tratamiento posterior de los datos recolectados.

6.4 Determinación de la Cantidad a Medir

Basándose en el análisis de sitio y las fuentes identificadas, la unidad a medir varía según la región del campo electromagnético en que se encuentra el punto de evaluación [35], debido a la diferencia en las propiedades del CEM.

Basándose en el flujograma mostrado en la Figura 4-6, La **Tabla 6.6** es de utilidad para determinar la cantidad a medir.

Tabla 6.6 Cantidades a medir en diferentes distancias de las estaciones RF. Tabla modificada de [42].

Unidad a Medir	Región I Campo cercano reactivo	Región II Campo cercano radiante	Región III Campo lejano
	E y H	E ó H	

En la región I las mediciones son complejas, debido a que E y H no están relacionados uniformemente. Por ello se requiere medir ambas componentes del campo por separado [33].

En las regiones II y III, E y H están relacionadas por la impedancia característica de medio $Z_o = 377 \Omega$, por lo que basta con medir una de los dos componentes [33]. En la práctica, se acostumbra medir la componente E .

6.4.1 Cantidad a Medir Seleccionada para El Crucero

Considerando que los equipos de medición disponibles solo permiten medir la intensidad de campo eléctrico E , esta será la cantidad a medir seleccionada para todos los puntos de investigación.

6.5 Selección del Equipo de Medición

En este inciso se describen requerimientos básicos del equipo de medición para realizar las mediciones cumpliendo con el estándar EN 50492. Una descripción general del sistema de medición es presentada en el **inciso 4.2**.



6.5.1 Requerimientos del Sistema de Medición en Frecuencia Selectiva

La instrumentación del método de medición en Frecuencia Selectiva se especifica en el **Inciso 4.2.2**. Los requerimientos técnicos de esta instrumentación se muestran en la **Tabla 6.7**.

Tabla 6.7 Requerimientos del Sistema de Medición en Frecuencia Selectiva [35].

Parámetro		Valor	
Rango de Frecuencias		100 kHz – 6 GHz*	
Especificaciones técnicas [39]	Respuesta en Frecuencia	$f < 900 \text{ MHz}$	$f \text{ entre } 900 \text{ MHz} - 3 \text{ GHz}$
		$f > 3 \text{ GHz}$	
	$\pm 3 \text{ dB}$	$\pm 1.5 \text{ dB}$	
	Mínimo Límite de Detección	$\pm 0.01 \text{ W/m}^2$	
	Rango Dinámico	$\geq 66 \text{ dB}$	
	Linealidad	$\pm 1.5 \text{ dB}$	
	Isotropía	$< 2.5 \text{ dB}$ Evaluado para el sist. de medición completo	
Calibración		De conformidad con [EN 50383]	
Notas			
* O el rango de frecuencias que abarca las fuentes identificadas según el Inciso 6.2 .			

6.6 Mediciones

6.6.1 Selección de Puntos de Investigación

Se debe seleccionar el punto de investigación de tal forma que represente los mayores niveles de exposición. Para ello, se debe tener en cuenta la cantidad de fuentes de CEM y la ubicación de las fuentes cercanas, según el análisis de sitio e identificación de fuentes previamente realizados [7].

Entre los métodos para determinar el punto con mayor exposición se encuentran los siguientes:

Tabla 6.8 Métodos de determinación de punto de máxima exposición.

Método	Características
Cálculos de propagación teórica	<ul style="list-style-type: none">• Permite limitar la zona de investigación a un área determinada de pocos metros cuadrado (tejado, patio baldío, etc.)*
Método de Evaluación por Movimiento (Verificación rápida)	<ul style="list-style-type: none">• Utiliza una sonda de banda ancha.• Se realizan movimientos lentos, oscilando entre 1.1 m y 1.7 m de altura sobre el suelo, evitando cualquier perturbación (superficies metálicas, cuerpo del operador)**
Notas:	
* En el inciso 4.1 son expuestos los diferentes métodos de cálculo.	
** Los puntos en los que el valor instantáneo sea superior deben ser los seleccionados para realizar la evaluación de conformidad [7].	



En varias ocasiones, el responsable de las mediciones requiere reducir al máximo la zona determinada mediante los cálculos de propagación teórica. Es para esto que se implementa el método de verificación rápida [7].

Consideraciones aparte deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar los puntos de investigación, entre ellas están [7]:

- Cuando sea conveniente, el punto de investigación debe encontrarse en situación de campo lejano;
- Seleccionar el punto en un área con la menor cantidad de obstáculos posibles (como árboles, construcciones, superficies metálicas, etc.) para prevenir efectos como absorción, reflexiones y multi-trayectorias en la señal.
- Comprobar que no hay presencia de un CEM intenso en las proximidades del punto.

6.6.1.1 Selección de Puntos de Investigación en El Crucero

Este inciso trata en qué puntos específicos de los barrios y la comarca El Crucero se realizarán las mediciones. Los métodos utilizables para la selección de estos puntos fueron tratados en el **inciso 6.6.1**.

El método de verificación rápida, que se realiza utilizando el método de medición en banda ancha, no es posible de realizar con los equipos de TELCOR, por lo cual se omitió.

En vista a lo anterior, los puntos de investigación se eligieron por medio de inspección visual y cartográfica, obedeciendo criterios establecidos por la UIT en su recomendación UIT-R BS.1195, donde especifica criterios de selección de lugares de medición para estaciones móviles (vehículos equipados para medir). Además, se dio prioridad a zonas de interés social, como son escuelas, parques, y otras zonas de aglomeración social.

Los criterios de selección utilizados fueron:

- Distancia $\geq 10\lambda$ entre antena la antena receptora y antena transmisora, a fin de evitar acoplamiento inductivo.
- El lugar de las mediciones debe ser lo suficientemente llano como para aproximarse a una superficie reflectante o absorbente ideal.
- Debe estar libre de obstáculos que produzcan reflexiones múltiples.
- Todos los puntos de investigación escogidos han de estar situados en carreteras accesibles para el vehículo de pruebas.

Se eligieron 11 puntos de investigación, distribuidos geográficamente de la siguiente manera:



Tabla 6.9 Puntos de investigación seleccionados.

Punto de Medición	Lugar	Coordenadas Geográficas	
		Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)
1	Barrio Carlos Fonseca	86°18'36.86"	11°58'15.45"
2	Barrio El Chorizo	86°18'33.74"	11°58'29.87"
3	Barrio Luis Alfonso Velásquez	86°18'38.27"	11°58'41.54"
4	Barrio Luis Alfonso Velásquez	86°18'39.79"	11°58'54.65"
5	Barrio Edgar Lang	86°18'31.55"	11°59'8.41"
6	Barrio Jonathan González	86°18'38.73"	11°59'14.78"
7	Barrio Edgar Lang	86°18'39.11"	11°59'25.92"
8	Barrio Juan José Quezada	86°18'22.87"	11°59'41.15"
9	Carretera El Crucero-Las Nubes	86°18'8.06"	11°59'54.35"
10	Mirador Las Nubes	86°17'45.66"	12°0'5.30"
11	Las Nubes	86°17'8.36"	12°0'31.98"

En vista a lo descrito en los párrafos anteriores, los puntos de investigación seleccionados se muestran en la **Figuras 6.9 y 6.10**

En el **Anexo A**, se muestran imágenes de los puntos de investigación seleccionados.

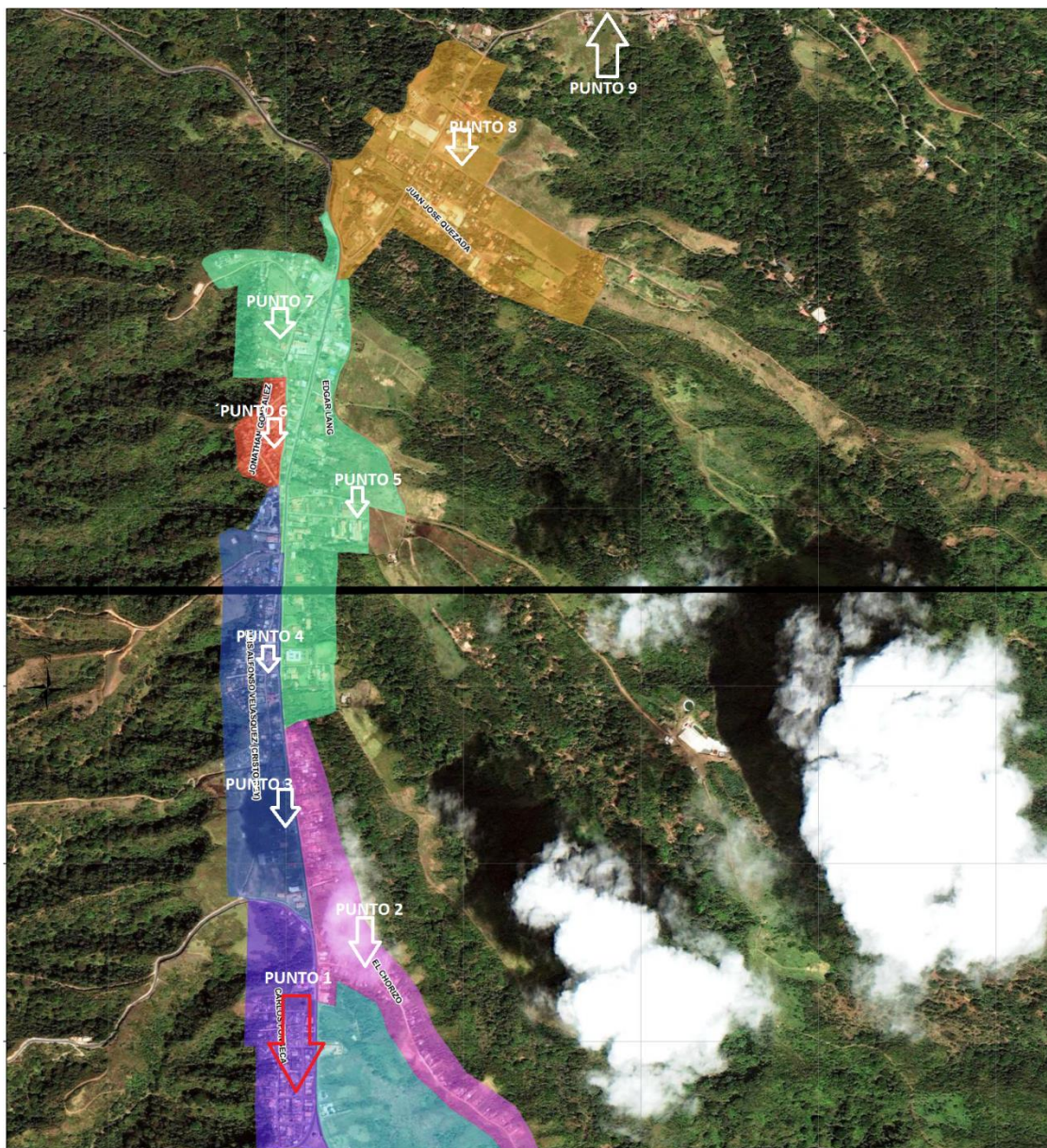


Figura 6.9 Puntos de Medición Casco Urbano El Crucero.

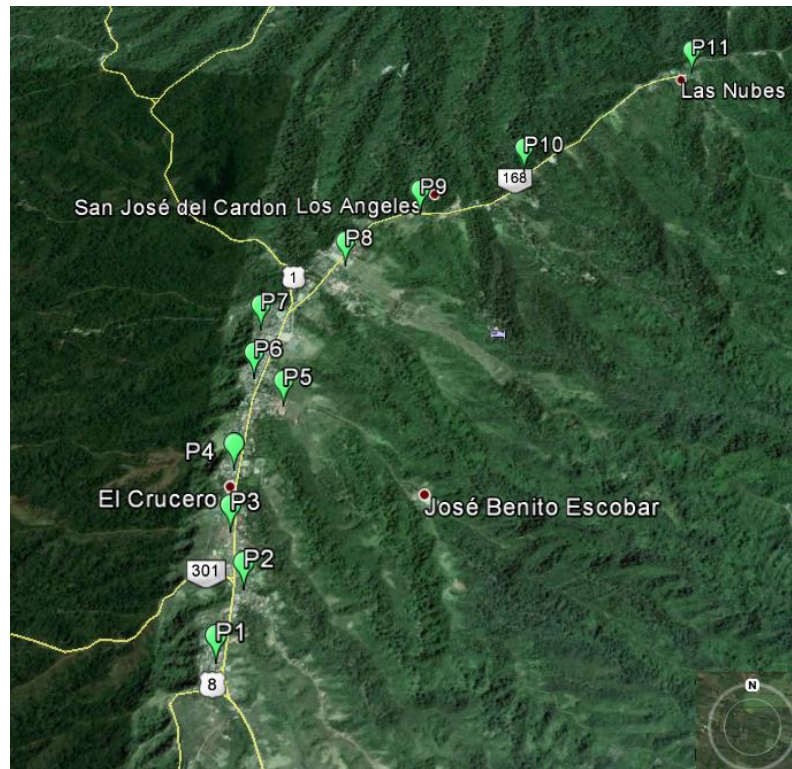


Figura 6.10 Puntos de Medición Casco Urbano y Comarca El Crucero.

6.6.2 Procedimiento de Medición

6.6.2.1 Generalidades

Es recomendable empezar por el método más sencillo: el método de medición en banda ancha. Si el nivel de exposición medido se encuentra en incumplimiento con el valor de referencia aplicable, se debe implementar el método de medición en frecuencia selectiva. Si aún no hay cumplimiento, es necesario realizar mediciones de SAR tomando las restricciones básicas como límite a aplicar [33].

Una vez elegido el punto de investigación, se deben tomar medidas para reducir las perturbaciones del campo electromagnético existente, tales como:

- **Posición de los instrumentos**
- **Promediación en el tiempo y espacio**

Estos procedimientos que se muestran a continuación no son aplicables a casos con una exposición crítica muy localizada [7].

Nota: Los operadores no deben conocer los valores exactos de la frecuencia a medir, a fin de que no sientan la tentación de corregir los resultados obtenidos [7].

6.6.2.2 Posición de los Instrumentos

La medición debe realizarse a una cota de interés, generalmente en un punto a 1.5 m de altura sobre el suelo [7]. Por consiguiente, la antena/sonda debe colocarse sobre un trípode no conductor para garantizar un posicionamiento correcto. El operador debe alejarse al menos 1 metro para reducir la influencia del cuerpo en las mediciones [7].

6.6.2.3 Promediación

Los campos EM varían en tiempo y en espacio por lo tanto, la intensidad de campo utilizada para evaluar la exposición humana debe ser promediada de la misma forma.

De no utilizarse una sonda isotrópica se deberá hacer una serie de mediciones en las direcciones y polarizaciones relevantes y combinarlas para evaluar la exposición de forma isotrópica para cada punto [31].

6.6.2.3.1 Promediado Espacial

Para evaluar la exposición de cuerpo completo y reducir los efectos de distribuciones de campo no uniformes debidas a la propagación por trayectos múltiples [33], los niveles de referencia están supuestos a ser promediados espacialmente sobre las dimensiones del cuerpo humano [5].

Los valores isotrópicos del campo deben determinarse en N puntos de medición. El método más básico, contempla 3 puntos, pero si una mayor precisión es requerida, debe considerarse utilizar 6, 9 o hasta 20 puntos de medición [31]. La incertidumbre de la estimación del valor medio puede considerarse 3 dB al realizar mediciones en 3 puntos y 2 dB cuando se realizan en 6 puntos [7].

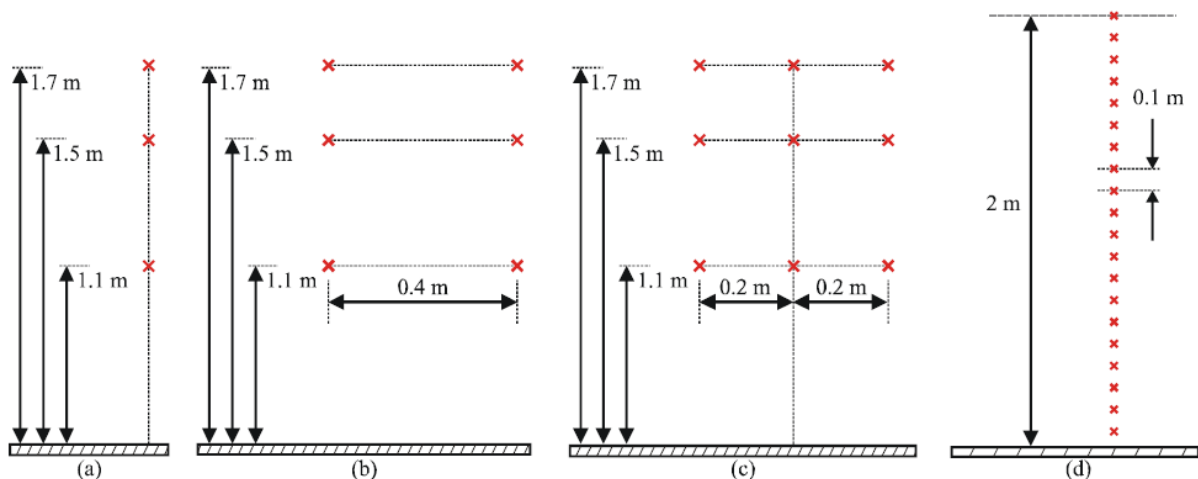


Figura 6.11 Puntos de Medición para Promediado Espacial. Figura extraída de [31].

La fórmula para promediar espacialmente los valores de campo eléctrico es:

$$E_{\text{spatial averaging}} = \sqrt{\sum_{p=1}^N \frac{E_p^2}{N}} \quad (6-1)$$



Donde:

- E_p Es el valor de intensidad de campo eléctrico medido en un punto específico p
 N Es el número de puntos seleccionados (3, 6, 9, 20).

6.6.2.3.2 Promediado en Tiempo

Los niveles de referencia de ICNIRP son expresados en valores RMS de una onda continua, promediados sobre cualquier período de 6 minutos debajo de los 10 GHz, y $68f^{1.05}$ minutos por encima de los 10 GHz [31].

Sin embargo, el tiempo de promediación está basado en el fenómeno de calentamiento (mediciones de SAR) y no en el tiempo de variación de las señales de radiocomunicación [29]. Por esto se debe considerar que, aunque estas directrices orienten solamente un período de promediación, éste debe adaptarse a las características de la señal medida y al equipo de medición utilizado, por ejemplo, ajustando la modulación y el ciclo de trabajo de la portadora considerada al tiempo de barrido y al detector utilizado [7].

6.6.2.4 Ajuste del Equipo de Medición: Parámetros a Ingresar

Las configuraciones del instrumento de medición deben ajustarse según los diferentes servicios a evaluar, garantizando así una mayor precisión [29]. La amplitud medida debe considerarse como la potencia total de la señal transmitida [35].

En la **Tabla 6.10** se muestran valores recomendados de anchura de banda necesaria para las mediciones de los servicios de Radiodifusión Sonora en FM y TV analógica.

Tabla 6.10 Anchuras de banda de medición necesarias según el servicio a medir. Tabla extraída parcialmente de [7].

Sistema	Anchura de Banda de Medición Necesaria	Observaciones
Radiodifusión Sonora en FM	120 KHz	La anchura de banda máxima ocupada es 180 KHz, pero casi toda la energía se encuentra en 120 KHz
TV Analógica	120 KHz	Aunque la anchura de banda ocupada es superior, casi toda la energía está en la portadora de video para lo que 120 KHz es suficiente
Nota: <ul style="list-style-type: none">Para un receptor digital, el tiempo de activación del receptor debe ser: $\geq 0,1$ s		

6.6.2.5 Procedimiento de medición en frecuencia selectiva con equipos en unidades móviles de TELCOR

Los procedimientos presentados en este inciso se encuentran vinculados con el proceso de configuración del sistema de medición para la realización de Mediciones Automáticas en Frecuencia Selectiva por medio de un Rastreo por Lista de Frecuencias. Este proceso es presentado en el **Anexo B**.



El método de Rastreo por Lista de Frecuencias permite cumplir con el objetivo de la evaluación y, además, reducir considerablemente el tiempo de evaluación en cada punto. Este método consiste en un proceso cíclico de medición, también denominado Rutina de Medición.

En las **Figura 6.12** y **6.13** son detallados los pasos a proseguir en campañas de medición de RNI con los equipos de TELCOR. Estos procedimientos deben realizarse por cada lista de frecuencias.

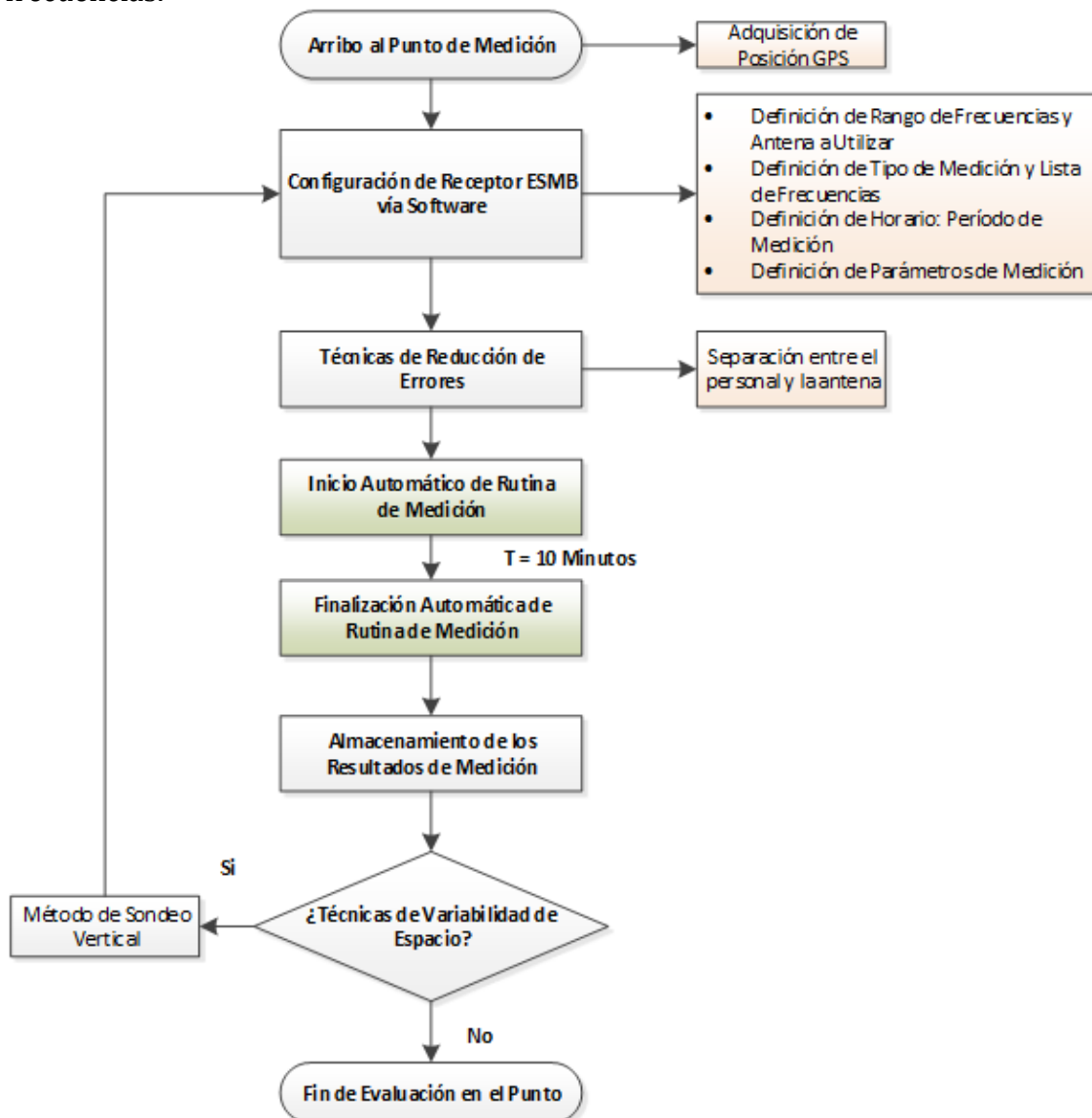


Figura 6.12 Procedimiento general de medición de RNI con estaciones móviles de comprobación técnica de TELCOR.

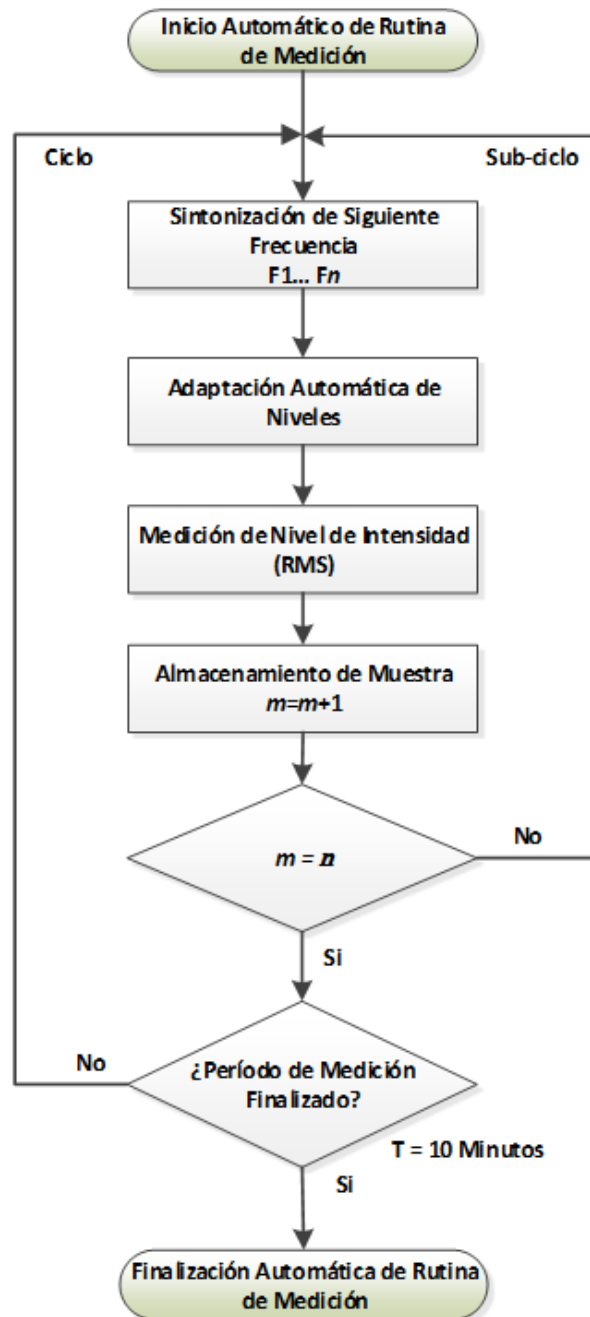


Figura 6.13 Rutina de la medición por rastreo lista de frecuencias.



Listas de Frecuencia

Las listas de frecuencia utilizadas son mostradas en la **Tabla 6.11**. El procedimiento para la creación de estas listas es presentado en el **Anexo B** (inciso 2-a).

Tabla 6.11 Listas de Frecuencia utilizadas en las mediciones.

Ítem	Lista de Frecuencias de FM	Lista de Frecuencias de TV
	MHz	MHz
1	89.50	55.25
2	89.90	59.75
3	90.50	67.25
4	90.90	71.75
5	91.30	83.25
6	91.70	87.75
7	92.10	181.25
8	92.70	185.75
9	93.10	193.25
10	93.50	197.75
11	93.90	205.25
12	94.30	209.75
13	94.70	471.25
14	95.10	475.75
15	95.50	513.25
16	95.90	517.75
17	96.30	
18	96.70	
19	97.10	
20	97.50	
21	97.90	
22	98.30	
23	98.70	
24	99.10	
25	99.90	
26	100.30	
27	100.70	
28	101.10	
29	101.50	
30	101.90	
31	102.30	
32	102.70	
33	103.10	
34	103.50	
35	103.90	
36	104.30	
37	104.70	
38	105.10	
39	105.50	
40	105.90	
41	106.30	
42	106.70	
43	107.10	
44	107.50	



Parámetros de Medición

Los parámetros de medición utilizados son detallados en la **Tabla 6.12**:

Tabla 6.12 Parámetros de la medición.

Parámetro	Valor
Tipo de Detector	RMS
Tipo de Demodulación	FM
Ancho de Banda de Frecuencia Intermedia (FI)	120 KHz
Control de Ganancia (GC)	Automatic Gain Control (AGC)
Tiempo de Medición (Tiempo de Muestreo)	100 ms
Período de Medición	10 min

Listas de los parámetros utilizados para cada medición son brindadas por el software y presentadas en las **Tabla 6.13** y **6.14**.

Tabla 6.13 Parámetros de medición en rango de frecuencias de radiodifusión FM.

Tipo de medición:		Rastreo de lista de frecuencias
Lista de frecuencias:		UNI-FM
Squelch:		Off
Parámetro de medición:		Level
Frecuencia inicial:		88,000000 MHz
Frecuencia final:		108,000000 MHz
Dispositivo 1	Nombre:	ADD 190
	Acimut:	0,000 Grad
	Polarización:	vertical
	Elevación:	0,000 Grad
	Altura:	0,00 m
Dispositivo 2	Nombre:	ESMB
	Ancho de banda FI:	120 kHz
	Atenuación RF:	0 dB
	Atenuación FI:	LowDistortion
	Demodulación:	FM
	Tiempo de medición:	100,000 ms
	Detector:	RMS

Tabla 6.14 Parámetros de medición en rango de frecuencias de teledifusión.

Tipo de medición:		Rastreo de lista de frecuencias
Lista de frecuencias:		UNI-FM
Squelch:		Off
Parámetro de medición:		Level
Frecuencia inicial:		55,000000 MHz
Frecuencia final:		520,000000 MHz



Dispositivo 1	Nombre:	ADD 190
	Acimut:	0,000 Grad
	Polarización:	vertical
	Elevación:	0,000 Grad
	Altura:	0,00 m
Dispositivo 2	Nombre:	ESMB
	Ancho de banda FI:	300 kHz
	Atenuación RF:	0 dB
	Atenuación FI:	LowDistortion
	Demodulación:	FM
	Tiempo de medición:	100,000 ms
	Detector:	RMS

Consideraciones:

1. Las mediciones no son isotrópicas. La antena ADD 190 no es óptima para captar ondas horizontalmente polarizadas.
2. La disposición de los equipos de medición fue restringida, puesto que estos son constantemente utilizados para las tareas de comprobación técnica del ente regulador. Además, el personal operador de las estaciones de comprobación técnica, acatando las recomendaciones del fabricante de los equipos y el Manual de Comprobación Técnica, vela por la protección de los equipos de medición evitando exponerlos por mucho tiempo a CEM de alta intensidad o evitando permanecer en zonas con múltiples fuentes.
3. Las mediciones en los Puntos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 11 fueron realizadas utilizando la unidad móvil ME 0445. Las mediciones en los Puntos 3 y 8 fueron realizadas con la unidad móvil ME 0448.
4. Durante estas mediciones no fueron realizadas técnicas de reducción de errores: el personal operador permaneció dentro y fuera del vehículo durante el proceso de medición. La incertidumbre que esto produce es evaluada en el **Capítulo 8**.
5. No fue posible realizar mediciones tomando en cuenta técnicas de variabilidad de espacio, puesto que estas fueron realizadas con una estación móvil compuesta y no con un instrumento individual. Con las estaciones móviles es posible emplear el método de sondeo vertical al variar la altura de la antena por medio del mástil retráctil, sin embargo no pueden lograrse alturas menores a 2 m. No se contó con el tiempo suficiente para la realización de este proceso.

Los resultados de medición obtenidos en cada punto de investigación, son analizados y post-procesados en el **Capítulo 7**.



6.7 Post-procesamiento de las Mediciones

6.7.1 Extrapolación

Las mediciones en frecuencia selectiva pueden ser extrapoladas, de ser necesario, para estimar el campo durante el horario de operación con la mayor potencia de transmisión [35]. Para esta investigación no se realizará extrapolación de los datos.

6.7.2 Incertidumbre en las mediciones

La incertidumbre de las mediciones y del método de evaluación debe ser determinada [35]. Las contribuciones a la incertidumbre total de la medición pueden dividirse en dos: las debidas al entorno y las debidas a los equipos de medición [7]. En la **Tabla 6.15** es mostrada una lista con las contribuciones de incertidumbre típicas en una medición, y su clasificación.

Tabla 6.15 Clasificación de las contribuciones de incertidumbre.

Fuente de Error	Descripcion	Componente de Incertidumbre
Equipo de Medición	Esta incertidumbre intrínseca de cada instrumento, por lo que debe ser proporcionada por el fabricante en su certificado de calibración [7] *	Calibración
		Isotropía
		Linealidad
		Dispositivo de Medicion
		Ruido
		Desajuste (en Cadena de Potencia del Sistema)
		Influencia de Temperatura y Humedad
Entorno de Medición	Estas contribuciones pueden ser reducidas mediante una metodología de medición adecuada.	Influencia del Cuerpo
		Variabilidad de Espacio
Notas:		
*De no contar con esta información, estas contribuciones pueden obtenerse a través de mediciones llevadas a cabo en el equipo. basándose en la norma estándar EN 50383.		

Influencia del cuerpo

La presencia del cuerpo humano produce un rizado en los valores de intensidad de campo medidos, como se demostro en estudios realizados por el CENELEC en 2008. Estos valores de incertidumbre resultantes son mostrados en la **Tabla 6.16**.

Tabla 6.16 Máximo error simulado debido a la influencia del cuerpo en los valores medidos con una sonda isotrópica. Tabla extraída de [35].

Distancia entre Sonda y Cuerpo Humano	Máximo Error del Valor de Medición Simulado
0.5 m	-2.5 dB ... + 3 dB
1 m	-1.5 dB ... + 2 dB
2 m	±1.5 dB
3 m	±1.0 dB
10 m	±0.5 dB



Variabilidad de espacio

Mediciones de intensidad de campo eléctrico conducidas por el CENELEC, fueron llevadas a cabo en para canales de difusión en mas de 230 locaciones, promediando los valores de intensidad sobre cuadrículas de $N = 9$ puntos (espacio que coincide con las dimensiones del cuerpo humano), y promediandolos sobre 50 muestras de tiempo, obteniéndose los valores de incertidumbre mostrados en la **Tabla 6.17**.

Tabla 6.17 Incertidumbre a un 95% para modelo de desvanecimiento con muestras promediadas.
Datos obtenidos de [35].

N	1	2	6	9
$\epsilon_{95\%}$ (dB) promediado	10.7	3.5	2.3	1.8
Donde: $\epsilon_{95\%}$ es el error estimado en el nivel medido con un intervalo de confianza del 95%				



7. Tratamiento Posterior de Datos de Medición Recolectados

En este capítulo se analizarán los datos recolectados por medio de mediciones de intensidad de campo eléctrico realizadas en el municipio El Crucero, en 11 puntos seleccionados (véase **inciso 6.6.1.1**), con el propósito de presentar los pasos seguidos para efectuar el tratamiento posterior de estos datos y el cálculo de exposición total considerando todas las contribuciones medidas para cada uno de los puntos de investigación.

7.1 Datos de Medición Recolectados

Los resultados entregados por el sistema de medición consisten en una base de datos alfanumérica y matricial conformada por 3 tipos de datos, los cuales brindan:

- Información del tiempo por muestra expresado en formato de fecha y hora
- Información de la frecuencia expresada en MHz
- Información del nivel de intensidad de campo eléctrico medido expresado en la escala logarítmica dB μ V/m

Los datos se encuentran ordenados verticalmente, iniciando con el nivel medido al primer instante de tiempo y para la primer frecuencia de la lista. Varias muestras del nivel son obtenidas por cada frecuencia. En la **Figura 7.1** es presentado, a manera de ejemplo, un fragmento de los resultados de medición tal y como son entregados por el equipo de medición. El análisis de esta base de datos permite comprender la manera en la que el sistema adquiere los datos en este tipo de mediciones (Rastreo por Lista de Frecuencias).

Debido a que se utilizaron 2 listas de frecuencias distintas, por cada punto se realizaron 2 procesos de medición (uno por cada lista) y se obtuvieron 2 bases de datos distintas. La primera lista es la Lista de Frecuencias de FM conformada por 44 frecuencias de radiodifusión. La segunda es la Lista de Frecuencias de TV la cual contiene 16 frecuencias de teledifusión (véase **Tabla 6.11**).



Tiempo Fecha + Hora	Frecuencia MHz	Level dBμV/m
20/01/2015 14:09:09,898	55,250000	76,4
20/01/2015 14:09:09,898	59,750000	74,7
20/01/2015 14:09:09,898	61,256000	39,0
20/01/2015 14:09:09,898	67,250000	85,3
20/01/2015 14:09:09,898	71,750000	78,9
20/01/2015 14:09:09,898	83,250000	83,7
20/01/2015 14:09:09,898	87,750000	82,4
20/01/2015 14:09:09,898	181,250000	95,1
20/01/2015 14:09:09,898	185,750000	93,1
20/01/2015 14:09:09,898	193,250000	86,1
20/01/2015 14:09:09,898	197,750000	78,2
20/01/2015 14:09:09,898	205,250000	68,7
20/01/2015 14:09:09,898	209,750000	59,0
20/01/2015 14:09:09,898	471,250000	60,6
20/01/2015 14:09:09,898	475,750000	55,5
20/01/2015 14:09:09,898	513,250000	42,6
20/01/2015 14:09:09,898	517,750000	59,5
20/01/2015 14:09:11,801	55,250000	75,9
20/01/2015 14:09:11,801	59,750000	74,6
20/01/2015 14:09:11,801	61,256000	39,1
20/01/2015 14:09:11,801	67,250000	85,3
20/01/2015 14:09:11,801	71,750000	78,5
20/01/2015 14:09:11,801	83,250000	83,9
20/01/2015 14:09:11,801	87,750000	82,3
20/01/2015 14:09:11,801	181,250000	96,1
20/01/2015 14:09:11,801	185,750000	93,2
20/01/2015 14:09:11,801	193,250000	86,6
20/01/2015 14:09:11,801	197,750000	74,7
20/01/2015 14:09:11,801	205,250000	69,4
20/01/2015 14:09:11,801	209,750000	59,9
20/01/2015 14:09:11,801	471,250000	62,4
20/01/2015 14:09:11,801	475,750000	58,0
20/01/2015 14:09:11,801	513,250000	42,1
20/01/2015 14:09:11,801	517,750000	60,7
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Figura 7.1 Fragmento de resultados de medición por rastreo de lista de frecuencias utilizando la lista de frecuencias de TV.

Nota: El fragmento corresponde a 2 ciclos de los 292 ciclos de medición completados durante la medición.

7.2 Definiciones y Estimaciones Previas

A continuación son definidos una serie de parámetros asociados al tratamiento de los datos de medición y que deben analizarse. También se presentan expresiones matemáticas utilizadas para la estimar algunos de estos. Esta estimación es solamente una aproximación del valor verdadero, pues este último dependerá en gran medida del desempeño y precisión del equipo de medición durante el proceso de medición.



Tabla 7.1 Parámetros asociados al tratamiento de los datos.

Parametro	Variable	Descripción	Expresión/Formulación
Cantidad de Frecuencias de la Lista	n	Es igual al número de frecuencias que componen la Lista de Frecuencias a medir	
Cantidad de Muestras	m	Es el número total de muestras de intensidad de campo obtenidas durante la medición.	
Tiempo de medición	T	Período de tiempo que transcurre desde el inicio de la medición hasta su finalización durante el cual se obtienen los datos de medición. De manera general, su determinación puede realizarse conforme a las directrices de ICNIRP sobre el tiempo de medición.	$T \geq 6m.$
Tiempo de muestreo	t	Determina el tiempo de adquisición de una muestra, a una frecuencia. Es configurado en el Receptor ESMB como tiempo de activación del receptor.	$t = 100ms.$
Sub-ciclo de Medición	-	Consiste en la adquisición de 1 muestra de intensidad de campo en 1 frecuencia individual (véase la Figura 5-31). La cantidad de Sub-ciclos en una medición es entonces igual al total de muestras obtenidas.	
Período de Sub-ciclo de Medición	-	El período de un Sub-ciclo es igual al tiempo de muestreo.	t
Ciclo de Medición	-	Consiste en la adquisición de 1 muestra de intensidad de campo por cada frecuencia de la lista empleada (véase Figura 5-31). Es decir que para una lista compuesta por n cantidad de frecuencias, en 1 Ciclo de Medición, se obtendrá una n cantidad de muestras.	
Período de Ciclo de Medición	P	Es posible estimar el Período del Ciclo de Medición, P , a través de la multiplicación entre el número de frecuencias, n , y el tiempo de muestreo, t .	$P \approx n * t$ Ec. (7-1)
Cantidad de Ciclos de Medición	Q	Teóricamente, puede estimarse por medio de la relación entre el Tiempo de Medición y el Periodo del Ciclo de Medición *	$Q \approx \frac{T}{P}$ Ec. (7-2)
Cantidad de Muestras por Frecuencia **	m_f	La Cantidad de Muestras obtenidas por cada frecuencia es exactamente igual a la Cantidad de Ciclos de Medición***	$m_f = Q$

Notas:

* Debido a que el Tiempo de Medición es considerablemente mayor al Período del Ciclo de Medición, pueden completarse varios ciclos antes que finalice el proceso de medición.

**El número de muestras tomadas en el procedimiento de promediación es importante. Ya que tiene tanto efecto en los resultados promediados como el tiempo de promediación [43].

*** En un mismo intervalo o tiempo de Medición, se adquirirá una mayor Cantidad de Muestras por Frecuencia al emplear la lista con menor Cantidad de Frecuencias a medir, ya que esto disminuirá el Período del Ciclo de Medición.

Ejemplo de Estimación Previa de los Parámetros

El ejemplo mostrado en la **Figura 7.1** corresponde a una medición por rastreo de lista de frecuencias utilizando la lista de frecuencias de TV ($n = 16$ frecuencias), con un tiempo de muestreo $t = 100ms$ y un tiempo o intervalo de medición, $T = 10m = 600s$.

El Período del Ciclo de Medición estimado, utilizando la Ec. (7-1), es:

$$P \approx 16 * (100 * 10^{-3})s = 1.6 s$$



Esto significa que las 16 frecuencias de la lista, idealmente, serán medidas en un período aproximado de 1.6 segundos, obteniéndose así 16 muestras (1 muestra por frecuencia).

De igual forma, la Cantidad de Ciclos de Medición estimada, utilizando la Ec. (7-2), es:

$$Q \approx \frac{600s}{1.6s} = 375$$

Indicando que se adquirirá un aproximado de 375 muestras para cada frecuencia. Para obtener un total estimado de $16 * 375 = 6000$ muestras.

7.3 Tratamiento Posterior de Resultados de Medición

Los resultados de medición deben ser procesados con el objetivo de obtener los valores indicados para la evaluación de exposición humana. En este inciso se expone el procedimiento seguido para el procesamiento de estos datos, el cual puede servir como guía para el tratamiento posterior de otros resultados de medición del mismo tipo.

El procesamiento de la base de datos de medición puede realizarse por medio de un software con herramientas de hojas de cálculo. Esto facilita la programación de cálculos de conversión, promediación y sumatoria para una gran cantidad de datos.

Un esquema de los pasos seguidos para el tratamiento posterior de los datos de medición es presentado en la **Figura 7.2**.

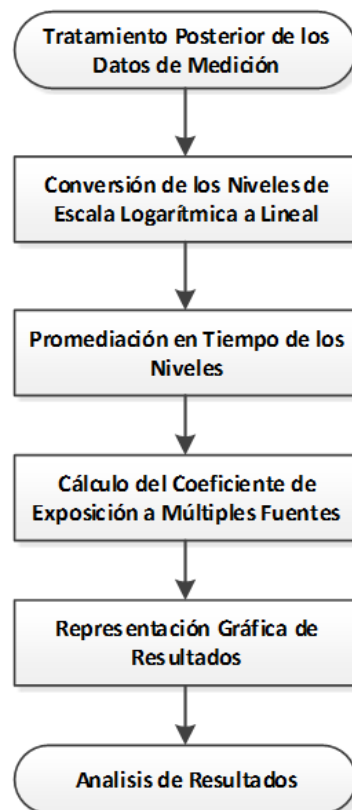


Figura 7.2 Procedimiento de tratamiento posterior de datos de medición obtenidos de mediciones por rastreo de lista de frecuencias.



Para una mejor comprensión de esta guía, el proceso de tratamiento de datos será explicado utilizando como ejemplo los datos mostrados en la **Figura 7.1**.

7.3.1 Conversión a Escala Lineal

Los datos obtenidos se encuentran expresados en terminos logaritmicos de intensidad de campo electrico, dBμV/m. Con el propósito de comparar los datos medidos con su respectivo límite de referencia es necesario procesarlos y convertirlos a escala lineal, expresándolos en términos de V/m. Para esto se pueden emplear las fórmulas:

$$E_i \text{ [V/m]} = \frac{\left(10^{\frac{E_i[\text{dB}\mu\text{V/m}]}{20}}\right)}{1,000,000} \quad (7-3)$$

$$E_i \text{ [mV/m]} = \frac{\left(10^{\frac{E_i[\text{dB}\mu\text{V/m}]}{20}}\right)}{1000} \quad (7-4)$$

Donde:

$E_i \text{ [V/m]}$, es el valor intensidad de campo eléctrico expresado en escala lineal, V/m.
 $E_i \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$, es el valor intensidad de campo eléctrico expresado en escala lineal, dBμV/m.

Por ejemplo:

Para el primer dato presentado en la **Figura 7.1**, el nivel de intensidad en escala logarítmica es $E_1 = 76.4 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, la conversión a escala lineal puede calcularse usando la Ec. (7-4), así:

$$E_1 = \frac{\left(10^{\frac{76.4 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}}{20}}\right)}{1000} = \frac{10^{3.82}}{1000} = 6.6069 \text{ mV/m}$$

Para la programación del proceso de conversión es necesario insertar la base de datos original en una hoja de cálculo garantizando el orden ascendente en tiempo y en frecuencia de los datos, a como se muestra en la **Tabla 7.2**. También se agrega una nueva columna con el valor de intensidad convertido a escala lineal en términos de mV/m.

Tabla 7.2 Presentación de resultados en hoja de cálculo y conversión de niveles a escala lineal.

Muestra	Tiempo	Frecuencia	Nivel	Nivel
m_j	Hora	MHz	dBμV/m	mV/m
1	14:09:10	55.25	76.4	6.6069
1	14:09:10	59.75	74.7	5.4325
1	14:09:10	67.25	85.3	18.4077
1	14:09:10	71.75	78.9	8.8105
1	14:09:10	83.25	83.7	15.3109
1	14:09:10	87.75	82.4	13.1826
1	14:09:10	181.25	95.1	56.8853



1	14:09:10	185.75	93.1	45.1856
1	14:09:10	193.25	86.1	20.1837
1	14:09:10	197.75	78.2	8.1283
1	14:09:10	205.25	68.7	2.7227
1	14:09:10	209.75	59.0	0.8913
1	14:09:10	471.25	60.6	1.0715
1	14:09:10	475.75	55.5	0.5957
1	14:09:10	513.25	63.6	1.5140
1	14:09:10	517.75	59.5	0.9441
2	14:09:12	55.25	75.9	6.2373
2	14:09:12	59.75	74.6	5.3703
2	14:09:12	67.25	85.3	18.4077
2	14:09:12	71.75	78.5	8.4140
2	14:09:12	83.25	83.9	15.6675
2	14:09:12	87.75	82.3	13.0317
2	14:09:12	181.25	96.1	63.8263
2	14:09:12	185.75	93.2	45.7088
2	14:09:12	193.25	86.6	21.3796
2	14:09:12	197.75	74.7	5.4325
2	14:09:12	205.25	69.4	2.9512
2	14:09:12	209.75	59.9	0.9886
2	14:09:12	471.25	62.4	1.3183
2	14:09:12	475.75	58.0	0.7943
2	14:09:12	513.25	63.1	1.4293
2	14:09:12	517.75	60.7	1.0839
...
...
n	...	...	...	...

7.3.2 Promediación en tiempo de niveles en frecuencias individuales

El siguiente paso consiste en realizar una promediación de los niveles lineales de intensidad de campo sobre el tiempo de medición (el cual es correspondiente con el número de muestras). La promediación se realiza mediante el cálculo de media aritmética de las muestras por cada frecuencia, utilizando la fórmula:

$$E_i \text{ prom} = \sum_{j=1}^n \frac{m_j}{n} \quad (7-5)$$

Donde:

$E_i \text{ prom}$, es la intensidad de campo eléctrico promedio a una frecuencia i
 m_j , es el valor de una muestra de intensidad j
 n , es el número total de muestras



Es necesario re-ordenar la base de datos de la **Tabla 7.2** de forma horizontal para facilitar la programación del proceso de promediación, tal y como se muestra en la **Tabla 7.3**. Esta incluye una columna con el valor de promedio de intensidad por cada frecuencia.

Para el ejemplo utilizado, se obtuvo una serie de 292 muestras del nivel de intensidad en la frecuencia $i = 55.25\text{MHz}$ con valores $m_1 = 6.6069 \text{ mV/m}$, $m_2 = 6.2373 \text{ mV/m}$, $m_3 = 8.2224 \text{ mV/m}$... $m_{292} = 9.4406 \text{ mV/m}$. El valor promedio de intensidad se obtiene aplicando la Ec. (6-3).

$$E_{55.25\text{MHz}} \text{ prom} = \sum_{j=1}^{292} \frac{m_j}{n} = \frac{6.6069 + 6.2373 + 8.2224 + \dots + 9.4406}{292}$$

$$E_{55.25\text{MHz}} \text{ prom} = 8.0695 \text{ mV/m}$$

Tabla 7.3 Disposición de resultados en formato horizontal y promediación de muestras medidas por frecuencia.

Frecuencia (MHz)	m_1 (mV/m)	m_2 (mV/m)	m_3 (mV/m)	...	m_j	Prom. (mV/m)
55.25	6.6069	6.2373	8.2224	...	...	8.0695
59.75	5.4325	5.3703	5.4325	...	...	5.8377
67.25	18.4077	18.4077	17.9887	...	...	18.7589
71.75	8.8105	8.4140	8.5114	...	...	7.4824
83.25	15.3109	15.6675	16.2181	...	...	17.2805
87.75	13.1826	13.0317	12.7350	...	...	13.6068
181.25	56.8853	63.8263	60.2560	...	...	60.7037
185.75	45.1856	45.7088	44.1570	...	...	46.2353
193.25	20.1837	21.3796	19.2752	...	...	18.6381
197.75	8.1283	5.4325	6.9183	...	...	7.1842
205.25	2.7227	2.9512	3.0549	...	...	3.2515
209.75	0.8913	0.9886	1.0116	...	...	1.0828
471.25	1.0715	1.3183	1.6982	...	...	1.2172
475.75	0.5957	0.7943	0.7244	...	...	0.5962
513.25	1.5140	1.4293	1.5672	...	...	1.4788
517.75	0.9441	1.0839	1.1749	...	...	1.1114

7.3.3 Cálculo de Exposición Total

Considerando que para frecuencias superiores a 100 KHz los criterios aplicados a la exposición total hacen referencia a circunstancias de efecto térmico [34], el coeficiente de exposición total, W_t , puede determinarse por medio de una suma ponderada de todas las contribuciones, cada una prorrataada con su respectivo límite de referencia [29]. Así, el cumplimiento con los límites de exposición se evaluará utilizando la ecuación:

$$W_t = \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (7-6)$$

Siempre que el coeficiente de exposición total sea menor a 1, el punto de investigación se encontrará en cumplimiento.



Para esta investigación, el rango de frecuencias a evaluar va desde 55.25 MHz a 517.75MHz. Los límites de referencia aplicables son los mostrados en la **Tablas 7.4** y la **Tabla 7.5**.

Tabla 7.4 Límites de referencia para el público en general aplicables para esta investigación.

Frecuencia (MHz)	E (V/m)
10 – 400	28
400 – 2000	$1.375 * \sqrt{f}$

Tabla 7.5 Límites de Referencia para frecuencias mayores a 400 MHz evaluadas en esta investigación. (véase Tabla 5.12)

Frecuencia (MHz)	E (V/m)
471.25	29.85
475.75	30
513.25	31.15
517.75	31.3

7.3.3.1 Ejemplo de Cálculo del Coeficiente de Exposición Total

Suponiendo que se realiza una medición de intensidad de campo eléctrico para 4 fuentes de CEM y se obtienen los valores indicados en la **Tabla 7.6**, se presenta un ejemplo del cálculo del coeficiente de exposición total para evaluar la exposición a estas fuentes y determinar conformidad.

Tabla 7.6 Ejemplo de datos medición para el cálculo demostrativo del coeficiente de exposición total.

Fuente CEM <i>i</i>	Frecuencia (MHz)	<i>E_i prom</i> (V/m)
1	397.50	0.365
2	399.50	0.253
3	401.50	0.298
4	403.50	0.341

El coeficiente de exposición total a estas fuentes determinadas puede calcularse utilizando la Ec. (7-6), de la siguiente forma:

$$W_t = \sum_{i=397.50MHz}^{403.5GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

Así:

$$W_t = \left(\frac{E_1}{E_{l,1}} \right)^2 + \left(\frac{E_2}{E_{l,2}} \right)^2 + \left(\frac{E_3}{E_{l,3}} \right)^2 + \left(\frac{E_4}{E_{l,4}} \right)^2 \leq 1$$

$$W_t = \left(\frac{0.365}{28} \right)^2 + \left(\frac{0.253}{28} \right)^2 + \left(\frac{0.298}{1.375 * \sqrt{401.5}} \right)^2 + \left(\frac{0.341}{1.375 * \sqrt{403.5}} \right)^2 \leq 1$$



$$W_t = 0.0005 \leq 1$$

Se determina que el nivel de exposición total considerando estas fuentes determinadas se encuentra en cumplimiento con los límites de referencia para el público en general de ICNIRP.

7.3.4 Representación gráfica de los datos recolectados

La disposición horizontal de los datos, como se muestra en la **Tabla 7.3**, permite examinar frecuencias individuales, posibilitando el análisis en amplitud y tiempo a como muestra la **Figura 7.3**.

Para el reporte de los resultados de esta investigación se representaran los datos recolectados de forma bidimensional, en un formato de Amplitud vs. Frecuencia y concatenando las muestras medidas por cada frecuencia, tal y como se presenta en la **Figura 7.4**. Este tipo de representación facilita el análisis en amplitud, tiempo y frecuencia a la vez. Además, permite comparar la diferencia en la cantidad de muestras por frecuencia obtenidas de las 2 mediciones (FM y TV) realizadas en cada punto.

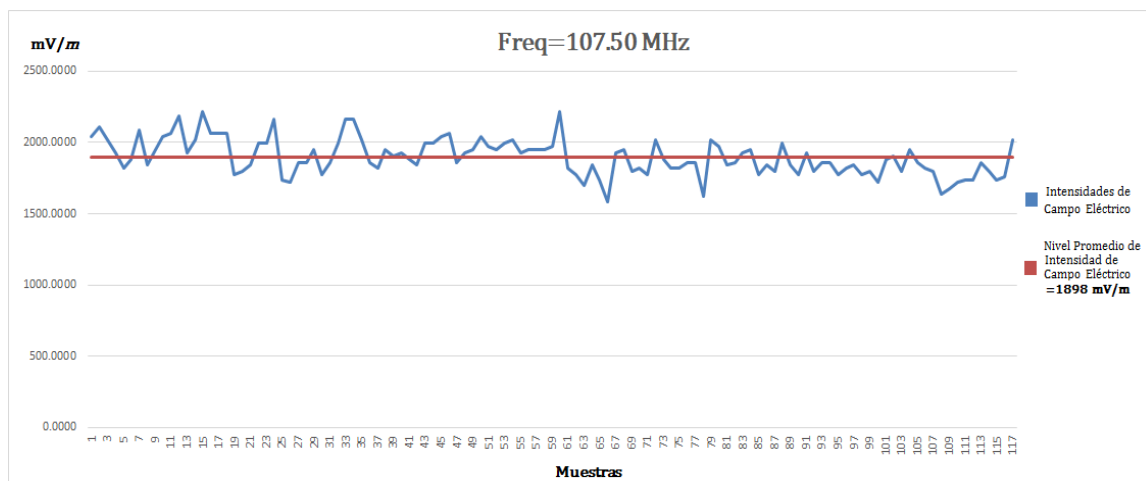


Figura 7.3 Análisis de una frecuencia individual en amplitud y tiempo.

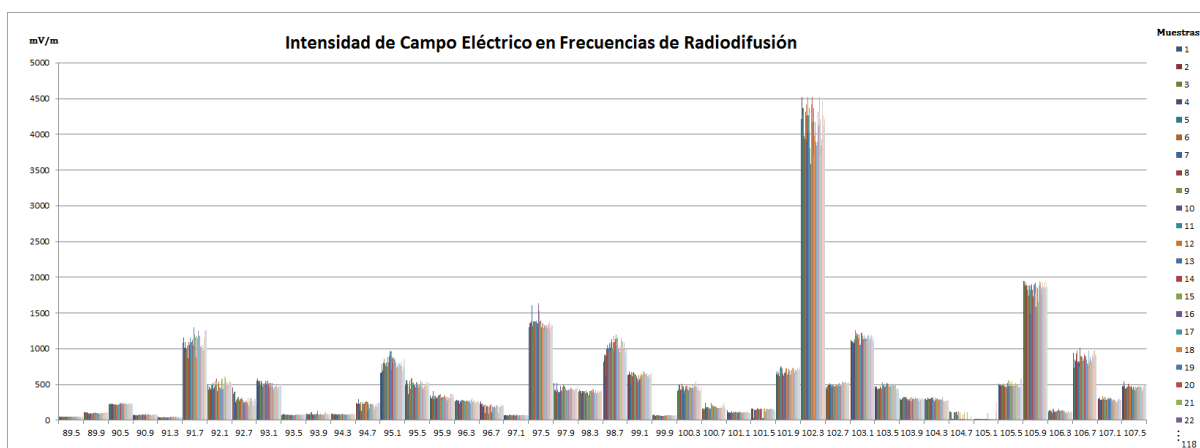


Figura 7.4 Análisis de los resultados en amplitud, frecuencia y tiempo.

Nota: Para cada frecuencia las muestras son concatenadas una después de la otra, de forma que el intervalo de tiempo es sintetizado y repetido para todas las frecuencias.



7.4 Análisis de Resultados

En este inciso se presentan los resultados posteriores al tratamiento de los datos de las mediciones realizadas para esta investigación. Para cada punto de investigación se determinara cumplimiento con los límites de exposición y se muestra una representación gráfica de los niveles medidos.

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos por cada punto, el tratamiento de datos se realizó en archivos de hojas de cálculo individuales que se entregan adjuntos a esta investigación. También se hace referencia a las bases de datos de medición originales (sin procesar) por cada punto.

Una base de datos general de los resultados de medición es presentada en la **Tabla 7.7**.

Tabla 7.7 Niveles promedio de intensidad de campo eléctrico en todos los puntos y para todas las frecuencias evaluadas.

Frec. MHz	P1 E _i prom mV/m	P2 E _i prom mV/m	P3 E _i prom mV/m	P4 E _i prom mV/m	P5 E _i prom mV/m	P6 E _i prom mV/m	P7 E _i prom mV/m	P8 E _i prom mV/m	P9 E _i prom mV/m	P10 E _i prom mV/m	P11 E _i prom mV/m
55.25	8.1127	6.0106	9.7787	12.7477	25.9589	37.9857	194.6016	1067.9841	171.2970	37.9035	44.5189
59.75	5.7173	5.4503	5.3607	23.8221	18.6598	22.2153	67.8362	301.0666	199.8366	77.3292	24.9685
67.25	18.3270	22.4739	9.8669	15.8973	18.2075	14.7294	39.8309	208.1223	823.3463	197.7558	81.0565
71.75	7.4131	13.0378	9.0718	1.0592	10.0598	8.0265	18.2864	25.9438	41.3484	182.8345	22.5137
83.25	17.4101	14.9743	28.6100	97.1289	188.1411	75.9565	347.6781	63.6246	134.2209	11.3490	11.8713
87.75	13.6962	3.4289	6.9180	21.7607	82.2162	40.0955	141.0334	71.5472	69.1969	4.3325	5.5118
89.5	10.1966	15.3281	9.8958	14.5022	32.1573	48.8897	91.3001	46.9294	668.5288	16.0580	11.3919
89.9	1.1349	2.2574	3.3291	5.9336	16.2734	18.5489	52.4336	98.1105	626.7539	357.2692	100.9211
90.5	2.4713	9.8541	28.5748	40.1328	74.0394	19.3793	679.7603	224.5355	194.1564	74.8437	5.9805
90.9	3.3206	8.1296	5.0065	18.3061	32.3116	18.0969	38.7148	75.7590	196.0575	494.9513	220.9129
91.3	10.5460	2.2519	4.1827	8.5438	10.6887	7.6534	14.4907	43.0294	39.0760	33.9038	1008.9098
91.7	15.2564	20.1429	49.9428	27.8492	78.4721	59.5135	112.9643	1087.9195	1134.4608	74.7447	135.5663
92.1	2.1155	4.9043	13.3171	13.7703	47.7983	75.8899	232.9296	492.3807	283.9285	156.1010	66.1932
92.7	18.6002	22.3796	23.7972	23.4082	23.9665	114.4576	270.8166	285.7357	887.4137	95.6185	104.0483
93.1	11.3887	33.0395	62.4004	42.4200	24.8551	128.2816	153.5279	492.3356	958.7991	219.3741	131.5828
93.5	6.5508	8.3091	8.4414	10.0556	13.0957	5.8047	27.5482	75.8281	313.9387	13.0197	22.7611
93.9	7.8916	1.9641	1.4186	4.6663	13.2565	7.1580	20.4012	83.6950	55.5657	41.3082	3162.9359
94.3	2.7136	10.9723	7.8513	7.2612	8.4368	19.3903	59.0408	80.5362	130.0423	854.5048	227.4216
94.7	0.0568	0.1027	2.6667	0.0601	0.1070	0.1518	0.6335	214.8256	13.4676	2.4664	3.5531
95.1	6.8284	45.1761	30.5717	48.6935	147.0690	252.5839	149.4236	794.8182	976.3428	347.0328	182.9297
95.5	12.4837	10.5787	14.8267	8.1898	26.7047	32.5853	72.8372	495.3236	279.4633	195.0081	64.4078
95.9	2.7899	8.8891	7.2570	6.1585	20.1097	6.7364	34.8440	326.6875	235.9867	178.9941	36.9469
96.3	7.5859	9.9186	22.2839	26.1784	37.4333	88.0515	82.5915	264.2365	556.6831	1301.1598	423.2162
96.7	2.3016	0.4108	1.3106	2.5065	2.9480	2.5942	7.0395	185.9499	19.8625	13.9215	192.2709
97.1	0.1092	0.3837	0.4128	0.1574	0.2144	0.3200	1.2754	68.0537	21.6233	6.4985	2.8245
97.5	23.5034	19.1553	4.6850	27.6568	125.5534	105.7050	136.7567	1354.1050	284.0422	41.1500	60.2045
97.9	1.5298	8.1745	35.5371	11.2758	58.6680	77.6558	213.2861	428.6331	772.5698	1238.1313	327.4277
98.3	40.1157	13.7240	25.8903	32.3303	32.0826	60.5495	132.2913	393.2867	1150.9218	785.4613	150.2890



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

98.7	57.7200	18.2201	28.1871	39.9779	268.3975	185.5637	174.2587	1013.6357	1045.5180	370.1746	224.3048
99.1	58.1536	13.0320	34.9471	35.3216	37.1149	89.7359	88.8902	627.5789	2086.6799	887.5348	321.8462
99.9	2.7546	2.3790	8.8965	2.2617	18.4024	5.9986	45.2009	65.9307	188.2039	475.6569	380.1160
100.3	6.2241	1.4594	11.0516	13.2044	58.7636	107.5477	248.6318	446.7808	381.8720	257.8794	84.2881
100.7	6.4323	4.7294	17.2077	12.2820	45.4323	28.0440	58.4167	182.4574	870.3244	305.5629	71.5302
101.1	4.2428	3.9007	5.4874	2.0818	3.6227	2.4174	3.9309	108.8763	23.3999	6.1036	495.4858
101.5	3.9743	1.0265	3.4308	0.9068	5.3077	2.9625	8.6928	126.4613	29.4836	12.8215	648.6123
101.9	10.2302	8.7851	12.5211	2.7079	136.4770	54.1809	233.4361	687.1423	187.8394	91.6204	148.2622
102.3	9.9986	16.3731	44.5100	26.2763	129.8067	48.7264	397.5501	4125.8677	766.3318	259.2032	50.5480
102.7	15.6361	12.0574	26.3783	10.3150	37.9693	13.7693	125.8982	494.4771	760.7428	375.8980	122.5411
103.1	7.7715	3.8000	6.6048	3.0096	14.9368	33.9933	13.5704	1147.2542	442.9830	72.2223	21.3912
103.5	8.6929	5.4352	11.9577	6.0444	49.7817	58.8288	156.3785	470.5647	358.1724	60.4304	22.3474
103.9	6.0169	19.1181	30.1342	19.3904	14.7996	26.1491	104.0007	297.2659	681.0594	678.5090	379.8282
104.3	8.6567	9.7657	12.7494	5.6366	31.1021	41.6610	76.2337	288.2380	791.0584	503.4102	95.5468
104.7	2.5505	1.6946	5.0998	2.2492	1.8321	0.8064	3.0735	48.4577	25.4874	6.1903	35.5655
105.1	6.3422	4.7216	2.8616	2.1012	5.7280	6.6472	9.9052	29.0512	43.5278	20.6416	313.3248
105.5	36.7155	37.7196	60.5347	28.6180	42.3720	25.1660	137.9445	492.1435	217.1151	104.5055	49.2483
105.9	8.1412	18.8721	29.9572	5.1460	40.9923	46.7422	175.8085	1845.1946	310.6525	146.6334	48.7744
106.3	10.7952	9.1296	23.4754	9.4234	49.1336	78.2438	73.7606	123.5826	314.2954	446.0532	88.8876
106.7	12.2467	5.7980	16.8031	5.9431	34.9857	29.3182	254.2301	863.2550	397.7894	165.1853	32.1575
107.1	2.8049	8.1649	43.9039	18.7977	37.2421	50.3240	214.4556	287.9854	2917.3907	141.1786	48.9593
107.5	23.5039	13.6822	30.6624	11.9315	47.3669	51.9506	68.6415	465.1145	1898.2602	618.5531	243.7308
181.25	60.6390	21.4321	70.3076	114.066	107.7779	89.1939	119.6821	446.9588	161.6851	89.1032	35.7532
185.75	45.7286	9.9415	30.1716	67.5495	56.4244	42.2680	81.6042	209.9472	123.3001	33.8300	13.5454
193.25	18.9151	12.8758	37.2273	20.2151	17.4089	31.1115	141.4967	99.6927	47.8032	310.7026	82.3549
197.75	7.2541	17.3277	25.6548	21.0393	26.6459	14.3897	50.9305	93.5755	107.7680	124.0685	115.7126
205.25	3.2180	2.4163	2.1488	4.8722	17.5590	14.9418	8.8894	238.9897	106.4079	128.8554	42.7957
209.75	1.0646	1.8872	2.3633	1.6093	3.4912	2.9720	2.2774	72.6192	62.6912	53.4688	11.6360
471.25	1.2297	0.9584	1.3735	0.2185	0.5514	0.5688	2.9455	9.5360	47.7880	54.1507	12.3373
475.75	0.6023	0.4990	0.6052	0.1987	0.5746	0.2760	0.5680	2.9546	25.5395	38.9882	11.4699
513.25	1.4027	0.9210	2.2794	1.2783	2.5894	3.3245	7.0725	8.1236	39.8662	7.2618	4.5184
517.75	1.1077	0.6076	1.4565	0.9425	1.8688	1.3116	6.3842	6.8509	16.3667	1.3067	2.5455

Nota: La representación gráfica de los resultados de medición para cada punto de investigación es presentada en el **Anexo A**.



Consideraciones

1. Una de las estaciones móviles presentó problemas para seleccionar el tiempo de muestreo mínimo (100 ms) por lo que se tuvo que seleccionar de 200 ms. Esto implicó que en las mediciones de los Puntos 3 y 8 se obtuviera una menor cantidad de muestras que en el resto de puntos.
2. No se dispuso del tiempo necesario para el análisis de los resultados obtenidos utilizando el software de monitoreo ARGUS MON o ARGUS EVAL.

7.4.1 Puntos con Mayores Niveles RNI

Tabla 7.8 Coeficientes de exposición total para todos los puntos de investigación.

Punto	Coef. Exposición Total - Wt	% ICNIRP - Publico General
1	0.00003	0.0030%
2	0.00001	0.0010%
3	0.00005	0.0050%
4	0.0001	0.0100%
5	0.0003	0.0300%
6	0.0003	0.0300%
7	0.002	0.2000%
8	0.0416	4.1600%
9	0.0381	3.8100%
10	0.0107	1.0700%
11	0.0165	1.6500%

Los resultados de las mediciones muestran que la exposición a estas emisiones no supera el 1% en 7 puntos (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7), y el 5% en el resto (8, 9, 10 y 11), de los límites de exposición del público en general de la ICNIRP.



8. Incertidumbre en las Mediciones de CEM

En este capítulo se presenta una recomendación del procedimiento a seguir para determinar la incertidumbre en las mediciones de CEM, con el objetivo de verificar si estas cumplen con los requerimientos de precisión dispuestos en las recomendaciones UIT-T K.61, K.83 y K.91.

Aun teniendo una incertidumbre elevada, el resultado de una medición puede estar cercano al verdadero valor del mensurando y tener un error despreciable. La incertidumbre del resultado de una medición no debe confundirse jamás con el error residual desconocido [44].

La determinación de la incertidumbre de medición resulta importante cuando los valores medidos se encuentran muy cercanos a los límites de exposición [45].

8.1 Pasos para establecer un presupuesto de incertidumbre

A continuación, se detallan los pasos a seguir para establecer un presupuesto de incertidumbre de las mediciones de CEM, según la norma EN 50413. Este procedimiento es mostrado en la **Figura 8.1**.

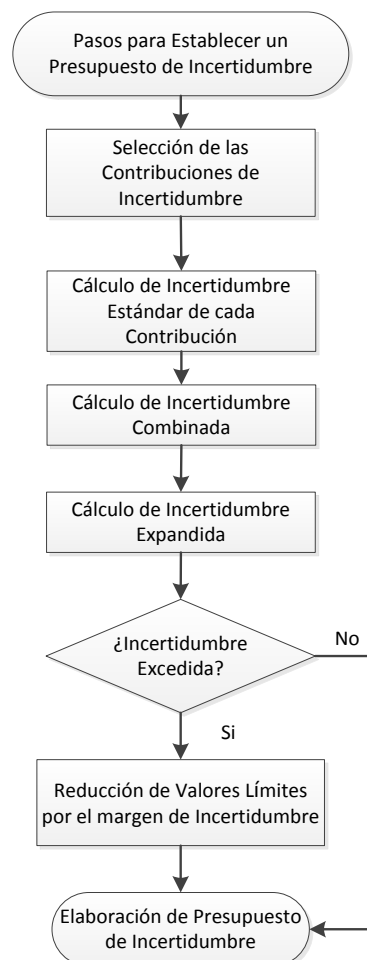


Figura 8.1 Pasos para establecer un presupuesto de incertidumbre.



8.1.1 Selección de las Contribuciones de Incertidumbre

Un presupuesto de incertidumbre consiste en una lista de las probables fuentes de error en una medición. Las contribuciones de cada componente de incertidumbre deben detallarse con su nombre, distribución de probabilidad, coeficiente de sensibilidad y valor de incertidumbre [29]. Los resultados deben ser registrados en una tabla, especificando para cada uno el método utilizado para obtener su valor numérico [44].

8.1.2 Incertidumbre Estándar

La Incertidumbre Estándar, $u(x_i)$, es la contribución individual de un componente a la incertidumbre de la medición expresada en forma de desviación estándar [44].

Si alguna de las incertidumbres estándares no está en términos de dB, entonces debe convertirse usando el coeficiente de sensibilidad apropiado, c_i . Así, la Incertidumbre Estandar de Salida se obtiene por [29]:

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i) \quad (8-1)$$

8.1.3 Incertidumbre Estándar Combinada

La incertidumbre combinada, $u_c(y)$, se calcula tomando la raíz cuadrada de la suma cuadrática de las incertidumbres estándares de salida. Así, para m contribuciones [29]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} \quad (8-2)$$

8.1.4 Incertidumbre Expandida

La incertidumbre expandida U , también denominada *incertidumbre global* [44], define un intervalo en torno al resultado de una medición que abarcara el valor verdadero con un nivel específico de confianza p %.

La incertidumbre expandida se obtiene multiplicando la incertidumbre combinada $u_c(y)$ con el factor de cobertura k , tal que [44]:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (8-3)$$

Para demostrar que las mediciones In-Situ se encuentran en cumplimiento con los límites de exposición, la incertidumbre expandida total no debe exceder de 4 dB, para un nivel de confianza del 95% (factor de cobertura $k = 1.96$) [29].



8.1.4.1 Reducción de los Valores Límites por el Margen de Incertidumbre

Si la incertidumbre de la medición In-Situ excede el valor de 4 dB, la siguiente expresión debe ser verdadera para asegurar que los valores medidos se encuentran en cumplimiento con los límites de exposición aplicados, con base en la clausula 7.1.2 de la [UIT-T K.61] [31]:

$$X_{med} \leq X_{lim} - \frac{1}{2}(U - 4) \quad (8-4)$$

Donde:

X_{med} es el valor medido

X_{lim} es el nivel de referencia aplicado

U es la incertidumbre de medida

8.1.5 Componentes de Incertidumbre Consideradas

Las componentes de incertidumbres consideradas en esta investigación se muestran en la **Tabla 8.1**.

Tabla 8.1 Componentes de Incertidumbre y su clasificación.

Fuente de Error		Componente de Incertidumbre
Equipo de Medición		Calibración
		Isotropía
		Linealidad
		Dispositivo de Medición
		Ruido
		Desajuste (en Cadena de Potencia del Sistema)
		Influencia de Temperatura y Humedad en el Equipo de Medición
Entorno de Medición	Parámetros Ambientales	Perturbación Causada por Ambiente (Temperatura, Humedad, Vibración)
		Influencia del Cuerpo
	Tratamiento Posterior	Media Espacial

La selección de estas contribuciones y de su distribución probabilística se realizó siguiendo la recomendación UIT-T K.83 y la norma estándar EN 50492 [34]. El método utilizado para obtener el valor numérico de cada contribución es presentado en la **Tabla 8.2**.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

Tabla 8.2 Tabla de cálculo de presupuesto de Incertidumbre.

Fuentes de Error	Descripción	Distribución Probabilidad	Valor de Incertidumbre u_v [dB]	Divisor	Coeficiente de Sensibilidad c_i	Incertidumbre Estándar de Salida $u_i(y)$ [dB]
				k_i		
Equipo de Medición						
Calibración		Normal	u_N	1.96	1	$u_1(y) = c_1 * \frac{u_N}{k_1}$
Isotropía		Normal	u_N	1.96	1	$u_2(y) = c_2 * \frac{u_N}{k_2}$
Linealidad		Rectangular	a_i	$\sqrt{3}$	1	$u_3(y) = c_3 * \frac{a_i}{k_3}$
Dispositivo de Medición		Normal	u_N	1.96	1	$u_4(y) = c_4 * \frac{u_N}{k_4}$
Ruido		Normal	u_N	1.96	1	$u_5(y) = c_5 * \frac{u_N}{k_5}$
Desajuste		Forma U	M	$\sqrt{2}$	1	$u_6(y) = c_6 * \frac{M}{k_6}$
Influencia de Temperatura y Humedad en el Equipo de Medición	[EN50383]	Rectangular	a_i	$\sqrt{3}$	1	$u_7(y) = c_7 * \frac{a_i}{k_7}$
Parámetros Ambientales						
Perturbación Causada por Ambiente (Desvanecimiento)	[EN50383]	Rectangular	a_i	$\sqrt{3}$	1	$u_8(y) = c_8 * \frac{a_i}{k_8}$
Influencia del Cuerpo	[EN50492]	Rectangular	a_i	$\sqrt{3}$	1	$u_9(y) = c_9 * \frac{a_i}{k_9}$
Tratamiento Posterior						
Media Espacial	[EN50492]	Rectangular	a_i	$\sqrt{3}$	1	$u_{10}(y) = c_{10} * \frac{a_i}{k_{10}}$
Incertidumbre Estándar Combinada						$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (u_i(y))^2}$
Incertidumbre Expandida [p = 95%]		Normal		1.96		$U[dB] = k * u_c(y)$



8.2 Ejemplo de Cálculo de Presupuesto de Incertidumbre

Para una mejor comprensión del proceso de cálculo de la contribución de incertidumbre de una fuente de error y el presupuesto de incertidumbre de la medición, se presenta el siguiente ejemplo mostrado en la **Tabla 8.3**, considerando solo 3 contribuciones.

Tabla 8.3 Ejemplo de cálculo de presupuesto de Incertidumbre.

Fuentes de Error	Distribución Probabilidad	Valor de Incertidumbre u_v [dB]	Divisor k_i	Coefficiente Sensibilidad c_i	Incertidumbre Estándar de Salida $u_i(y)$ [dB]
Equipo de Medición					
1 - Calibración	Normal	1.85	1.96	1	$1 * \frac{1.85}{1.96} = 0.94$ dB
2 - Isotropía	Normal	2	1.96	1	$1 * \frac{2}{1.96} = 1.02$ dB
3 - Desajuste	Forma U	1.5	$\sqrt{2}$	1	$1 * \frac{1.5}{\sqrt{2}} = 1.06$ dB
Incertidumbre Estándar Combinada					$u_c(y)$ [dB]
Incertidumbre Ampliada [p = 95%]	Normal		1.96		U [dB]

Cálculo de Incertidumbre Estándar Combinada

La Incertidumbre Estandar Combinada $u_c(y)$, expresada por la ecuación (8-2), se encuentra en escala lineal. Por consiguiente, es requerido que las incertidumbres estandares individuales $u_i(y)$, expresadas en dB, sean convertidas a escala lineal, para poderlas operar y combinar en sumatoria. Así, la ecuación (8-2) es modificada en:

$$u_c(y) [\%] = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\underbrace{\left(10^{\frac{u_i(y)}{20}} - 1 \right) * 100}_{u_i(y) \text{ en lineal } [\%]} \right)^2} \quad (8-5)$$

Al mismo tiempo, el valor de Incertidumbre Expandida, U , debe expresarse en dB para poder compararse con el valor límite de incertidumbre permisible para mediciones In-Situ (4 dB). Por esta razón, el valor de la Incertidumbre Estándar Combinada $u_c(y)$ en la Ec. (8-3) debe expresarse en escala logarítmica. Para ello, se modificó la Ec. (8-5) considerando dichas conversiones, en una sola expresión, resultando:

$$u_c(y) [dB] = 20 * \log_{10} \left(\left(\frac{u_c(y) [\%]}{100} \right) + 1 \right) \quad (8-6)$$



Y así:

$$u_c(y) [dB] = 20 * \log_{10} \left(\left(\frac{\sqrt{\left(\left(10^{\frac{0.94}{20}} - 1 \right) * 100 \right)^2 + \left(\left(10^{\frac{1.02}{20}} - 1 \right) * 100 \right)^2 + \left(\left(10^{\frac{1.06}{20}} - 1 \right) * 100 \right)^2}}{100} \right) + 1 \right)$$

$$u_c(y) [dB] = 20 * \log_{10} \left(\left(\frac{\sqrt{130.63 + 219.5 + 168.47}}{100} \right) + 1 \right) = 20 * \log_{10} \left(\left(\frac{22.77}{100} \right) + 1 \right)$$

$$u_c(y) [dB] = 20 * \log_{10}(1.2277)$$

$$u_c(y) = 1.78 \text{ dB}$$

Cálculo de Incertidumbre Expandida

La incertidumbre expandida se calcula utilizando la Ec. (8-3), por consiguiente:

$$U[dB] = k * u_c(y) = 1.96 * 1.78$$

$$U = 3.5 \text{ dB}$$

Para este caso de ejemplo, la incertidumbre expandida es menor a 4 dB. Por lo tanto, las mediciones correspondientes cumplen con los requerimientos de precisión recomendados (véase **inciso 8.1.4**). Es importante recordar que este enfoque es aplicable cuando los niveles medidos se encuentren en conformidad con los límites de exposición.

8.3 Presupuesto de incertidumbre de las mediciones

A continuación es presentado el presupuesto de incertidumbre de las mediciones realizadas durante esta investigación. Este se muestra en la **Tabla 8.4**.

Los valores de incertidumbre de las contribuciones de Calibración, Isotropía y Linealidad del equipo de medición no fueron obtenidos del certificado de calibración ni de alguna fuente acreditada, en cambio se utilizan como referencia los valores mínimos recomendados según los requerimientos del equipo de medición expresados en la **Tabla 6.7**, basados en la norma EN 50492 y la recomendación UIT-T K.61.



Tabla 8.4 Presupuesto de Incertidumbre de las Mediciones In-Situ realizadas.

Fuentes de Error	Descripción	Valor de Incertidumbre [dB]	Distribución Probabilística	Divisor K_i	C_i	Incertidumbre Estándar de Salida [dB]
Equipo de Medición						
Calibración	[UIT-T K.61, 7.1.3]	1	Normal	1.96	1	0.51
Isotropía	Inciso 5.1.5.3.2	2.5	Normal	1.96	1	1.28
Linealidad	Inciso 5.1.5.3.2	1.5	Rectangular	1.73	1	0.87
Dispositivo de Medición	Hoja de datos Receptor ESMB	1	Normal	1.96	1	0.51
Ruido	--	1	Normal	1.96	1	0.51
Desajuste (en cadena de potencia del sistema)	--*	1	Forma U	1.41	1	0.71
Influencia de Temperatura y Humedad en el Equipo de Medición	Hoja de datos Analizador FSP30 R&S (como referencia)	0.5	Rectangular	1.73	1	0.29
Parámetros Ambientales						
Perturbación Causada por Ambiente	[EN50383]	1	Rectangular	1.73	1	0.58
Influencia del Cuerpo	Inciso 5.1.8.2**	2	Rectangular	1.96	1	1.02
Tratamiento Posterior						
Media Espacial	Inciso 5.1.8.2***	10.7	Rectangular	1.73	1	6.18
Incertidumbre Estándar Combinada			$u_c(y)$ [dB]			6.33
Incertidumbre Expandida (95%)	****		Rectangular	1.96	U [dB]	12.41
Notas: * El desajuste en la cadena de potencia del sistema, resultante de desacoples en los cables y conectores, no fue determinado. ** El valor de incertidumbre de la influencia del cuerpo se determinó considerando una distancia entre la antena y el operador de 1 metro. *** El valor de incertidumbre resultante de la promediación espacial de las mediciones se determinó considerando que las mediciones fueron realizadas en un único punto de medición y que las muestras medidas fueron promediadas. **** La incertidumbre de las mediciones no pudo ser óptimamente determinada, debido a la carencia de información sobre la calibración de los equipos utilizados.						

Evaluación de cumplimiento de las mediciones

Con base en la Ec. (8-4), la incertidumbre expandida máxima tolerable por una medición para demostrar que se encuentra en cumplimiento será determinada por la siguiente expresión:

$$U \geq 2 * (X_{lim} - X_{med}) + 4 \quad (8-5)$$

Donde:

U es la incertidumbre expandida de la medición
 X_{med} es el valor medido
 X_{lim} es el límite de referencia aplicado



Para esta investigación, el máximo valor medido de intensidad de campo **E** es $E_{102.3\text{MHz}} = 4.125 \text{ V/m}$, en el Punto 8. Utilizando este valor, empleando la Ec. (8-5), podemos estimar que la máxima incertidumbre tolerable es:

$$U \geq 2 * (28 - 4.125) + 4$$

$$U \geq 51.75\text{dB}$$

Nota: Obsérvese que el valor de máxima incertidumbre tolerable calculado es considerablemente mayor al valor de incertidumbre de las mediciones estimado en la **Tabla 8.4**.



9. Conclusiones

Este capítulo presenta las conclusiones de la monografía y discute en torno a los resultados presentados en los capítulos anteriores.

El objetivo de esta investigación es brindar una guía de evaluación de las RNI producidas por operadores de radiodifusión FM y Televisión Abierta ubicados en el municipio El Crucero, empleando los equipos de medición disponibles por TELCOR en sus unidades móviles de comprobación técnica. Esta evaluación se realiza debido a que:

1. La gran cantidad de antenas que operan simultáneamente en este municipio generan una alta preocupación en la población por sus posibles efectos en la salud.
2. TELCOR, siendo el garante de que los equipos que hacen uso del espectro radioeléctrico en Nicaragua cumplan con los debidos parámetros técnicos en cuanto a emisiones de RNI, no dispone de una guía de evaluación de RNI adecuada utilizando los equipos disponibles en sus unidades móviles.

Para realizar esta investigación, se analizaron distintos aspectos de las RNI, desde sus límites de exposición, hasta los métodos de evaluación disponibles.

Se determinó que los límites de exposición establecidos por la ICNIRP en el documento: *“Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (hasta 300 GHz)”*, basados en efectos adversos en la salud comprobados, gozan del aval de la OMS, y han sido adoptados por diversos entes reguladores a nivel mundial, por lo cual fueron los utilizados en esta investigación para determinar cumplimiento.

Existen 2 métodos generales de evaluación a RNI: Método de Cálculo y Método de Medición. Cada método contempla distintos modelos y procedimientos. El mejor enfoque para la evaluación de exposición a CEM consiste en implementar inicialmente el método más sencillo (sea medición o cálculo) con la menor precisión y de alta sobreestimación. Si los niveles obtenidos empleando este enfoque demuestran cumplimiento, no es necesario continuar con la evaluación. En el caso contrario, se deben utilizar métodos más complejos.

En el caso del municipio El Crucero, el cual alberga instalaciones de 44 operadores de Radio FM y TV Abierta, se determinó que, debido al número significativo de fuentes y la insuficiencia de datos para caracterizarlas, el método apropiado para esta evaluación es el método de medición. Basicamente, este método consiste en mediciones de intensidad de campo. Sin embargo, deben cumplirse ciertos requerimientos en la evaluación de los resultados.

Entre los métodos de medición, hay 2 formas generales: métodos de medición en banda ancha y métodos de medición en frecuencia selectiva. El mejor enfoque consiste en realizar primeramente una medición en banda ancha y, si se demuestra incumplimiento, determinar la contribución relativa de cada fuente por medio de mediciones en frecuencia selectiva.



Una revisión de literatura de las recomendaciones y estándares de entidades técnicas internacionales fue realizada y empleada como base fundamental de contenido en una guía de medición In-Situ de CEM. Los parámetros utilizados de cada documento son resumidos en la **Tabla 9.1**.

Tabla 9.1 Parámetros utilizados de las recomendaciones de la UIT y estándares para la guía de evaluación.

Parámetros	UIT-T K.52	UIT-T K.61	UIT-T K.91	UIT-T K.83	UIT-R BS. 1195	Manual de Comprobación Técnica del Espectro	EN 50492	EN 50413	EN 50383
Guía General de Evaluación a RNI			✓						
Guía General de Medición						✓			
Clasificación de Fuentes*	✓								
Métodos de Calculo	✓	✓	✓						
Metodología de Medición		✓		✓	✓				✓
Determinación de Método de Medición							✓		
Descripción de Instrumentación						✓			
Selección de Equipo de Medición		✓					✓		
Selección de Puntos de Medición					✓	✓			
Incertidumbre de Medición		✓				✓	✓	✓	
Notas:									
* Clasificación según cumplimiento de los límites de exposición correspondientes									

Para el caso de los equipos de TELCOR, al disponer únicamente de equipos para mediciones selectivas en frecuencia con la funcionalidad de automatizar las mediciones, el método empleado consistió en un Rastreo por Lista de Frecuencias para obtener el nivel de intensidad RMS en cada frecuencia seleccionada durante un tiempo determinado.

Para verificar el cumplimiento de los límites de exposición en el casco urbano de El Crucero, área con mayor densidad poblacional del municipio, se seleccionaron 11 puntos de medición, Su selección fue realizada basándose en los siguientes criterios:

- Ubicación de al menos un punto de medición por barrio
- Distancia mínima de 10λ entre las antenas transmisoras y el punto de medición, para garantizar la ubicación de este en zona de campo lejano
- Garantizar un relieve llano y libre de obstáculos que produzcan reflexiones múltiples



- Cercanía a carreteras por motivos de accesibilidad de la unidades móviles de monitoreo

Se realizaron mediciones de intensidad de campo eléctrico en los puntos seleccionados, comparando los datos obtenidos con los límites de referencia para el público en general de ICNIRP correspondientes con la frecuencia de operación. De esta forma, se evidenció que la exposición a las fuentes de Radio FM y TV Abierta en los puntos evaluados se encuentra en cumplimiento.

Los resultados de las mediciones muestran que la exposición a estas emisiones no supera el 1% en 7 puntos, y el 5% en 4 puntos, de los límites de exposición del público en general de la ICNIRP. Esto se aprecia en la **Tabla 9.2**.

Tabla 9.2 Resultados de la evaluación de exposición a CEM en los puntos de investigación.

Punto	Lugar	Coordenadas Geográficas		% ICNIRP - Publico General
		Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)	
1	Barrio Carlos Fonseca	86°18'36.86"	11°58'15.45"	0.0030%
2	Barrio El Chozizo	86°18'33.74"	11°58'29.87"	0.0010%
3	Barrio Luis Alfonso Velásquez	86°18'38.27"	11°58'41.54"	0.0050%
4	Barrio Luis Alfonso Velásquez	86°18'39.79"	11°58'54.65"	0.0100%
5	Barrio Edgar Lang	86°18'31.55"	11°59'8.41"	0.0300%
6	Barrio Jonathan González	86°18'38.73"	11°59'14.78"	0.0300%
7	Barrio Edgar Lang	86°18'39.11"	11°59'25.92"	0.2000%
8	Barrio Juan José Quezada	86°18'22.87"	11°59'41.15"	4.1600%
9	Carretera El Crucero- Las Nubes	86°18'8.06"	11°59'54.35"	3.8100%
10	Mirador Las Nubes	86°17'45.66"	12°0'5.30"	1.0700%
11	Las Nubes	86°17'8.36"	12°0'31.98"	1.6500%

La incertidumbre de las mediciones no pudo ser óptimamente determinada, debido a la carencia de información sobre la calibración de los equipos utilizados. No obstante, se desarrolló un ejemplo del procedimiento a seguir para se determinación, asumiendo valores y estimándose así una incertidumbre expandida de 12.41 dB.

Por medio de cálculos realizados, se ha determinado que para que el cumplimiento de los niveles medidos sea puesto en duda, la incertidumbre de las mediciones deberá ser superior a 50 dB.



Recomendaciones

1. Realizar un trabajo de categorización de las fuentes, siguiendo el procedimiento detallado en la UIT-T K.52, para dar lugar a trabajos de evaluación más detallados.
2. En vista que Nicaragua actualmente no tiene una regulación técnica para la evaluación de RNI, proponer adoptar límites de ICNIRP y el método de evaluación más adecuado según el objetivo de la evaluación (zonas de conformidad de una fuente, cumplimiento en un punto en específico).
3. Recomendar utilizar equipos de medición con las debidas certificaciones de calibración para poder determinar correctamente la incertidumbre en las mediciones. Además considerar las técnicas de reducción de incertidumbre en la metodología aplicada.
4. Considerando las múltiples fuentes que emiten RNI en El Crucero, realizar mediciones en banda ancha, a fin de determinar cumplimiento tomando en cuenta otras fuentes presentes no consideradas en esta investigación.
5. Implementar software especial para la evaluación de RNI, por ejemplo el 'EMF Estimator' de la UIT.



10. Bibliografía

- [1] World Health Organization, "Ionizing radiation," [Online]. Available: http://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/. [Accessed 14 01 2016].
- [2] World Health Organization, "Radiation, Non-ionizing," [Online]. Available: http://www.who.int/topics/radiation_non_ionizing/en/. [Accessed 14 01 2016].
- [3] Organización Mundial de la Salud, Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos, Ginebra, 2005, p. 65.
- [4] World Health Organization, "Electromagnetic fields (EMF)," [Online]. Available: <http://www.who.int/peh-emf/publications/riskenglish/en/>. [Accessed 14 01 2016].
- [5] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz), vol. 74, Munich, 1998.
- [6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Use of the ICNIRP Guidelines, Munich, 1999, p. 294.
- [7] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Manual de Comprobación Técnica del Espectro, Ginebra, 2011, p. 590.
- [8] Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Art. 28: Adecuación de las normativas de protección de la Salud,» de *Ley No. 843: Ley que Regula la Ubicación, Construcción e Instalación de Estructuras de Soporte para Equipos de Telecomunicaciones que hacen uso del Espectro Radioeléctrico*, Managua, 2013, p. 16.
- [9] O.N Martínez, "Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua," MsC Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2013.
- [10] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Operadores de los Distintos Servicios de Telecomunicaciones,» 28 10 2014. [En línea]. Available: http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=52. [Último acceso: 10 01 2016].
- [11] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Operadores de Servicios de Radio Difusión Sonora FM,» [En línea]. Available: http://www.telcor.gob.ni/Operadores.asp?Accion=ListarPorServicio&SER_ID=3&RegistrosPorPagina=195. [Último acceso: 10 01 2016].
- [12] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Operadores de Servicio de Televisión Abierta en VHF,» [En línea]. Available: http://www.telcor.gob.ni/Operadores.asp?Accion=ListarPorServicio&SER_ID=5. [Último acceso: 10 01 2016].
- [13] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Operadores de Servicio de Televisión Abierta en UHF,» [En línea]. Available: http://www.telcor.gob.ni/Operadores.asp?Accion=ListarPorServicio&SER_ID=61. [Último acceso: 10 01 2016].
- [14] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Documentos Relacionados con FM,» [En línea]. Available: <http://www.telcor.gob.ni/DocAdmin.asp?Accion=ResultadoConsulta&Comodin=FM&RegistrosPorPagina=247>. [Último acceso: 10 01 2016].



- [15] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Documentos Relacionados con VHF,» [En línea]. Available: <http://www.telcor.gob.ni/DocAdmin.asp?Accion=ResultadoConsulta&Comodin=VHF&Regis tr.> [Último acceso: 10 01 2016].
- [16] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Documentos Relacionados con UHF,» [En línea]. Available: <http://www.telcor.gob.ni/DocAdmin.asp?Accion=ResultadoConsulta&Comodin=UHF&Regi strosPorPagina=38>. [Último acceso: 10 01 2016].
- [17] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Introduction," in *ICNIRP Statement on the "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)"*, vol. 97, Munich, 2009, p. 27.
- [18] Organización Mundial de la Salud, «Efectos biológicos y efectos en la salud,» de *Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos*, Ginebra, 2005, p. 4.
- [19] Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 45,» de *Decreto No. 128-2004: Reglamento General de la Ley Orgánica de TELCOR*, Managua, 2004, p. 28.
- [20] Rohde & Schwarz , "Nationwide radiomonitoring system for Nicaragua," *News from Rohde & Schwarz* , vol. 42, no. 176, p. 45, 2002.
- [21] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Acuerdo Administrativo 148-2002,» *La Gaceta No. 196*, p. 6630, 16 Octubre 2002.
- [22] Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, «Arto. 10,» de *Ley No. 200 "Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales"*, Managua, 1995, p. 9.
- [23] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Arto. 2,» de *Acuerdo Administrativo 001-1997*, Managua, 1997, p. 0.
- [24] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, Normativa Técnica No. NON-BC-001-2000, 1.0 ed., Managua: Editora de Arte, S.A., 2000, p. 109.
- [25] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, Normativa Técnica No. NON-TV-001-2003, Managua, 2003, p. 14.
- [26] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, «Acuerdo Administrativo 007-2005,» Managua, 2005.
- [27] Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal, «Ficha Municipal,» 2000. [En línea]. Available: http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MANAGUA/el_crucero.pdf. [Último acceso: 10 01 2016].
- [28] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-T K.52: Guidance on complying with limits for human exposure, 3.0 ed., Geneva, 2014, p. 7.
- [29] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-T K.91: Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 1.0 ed., Geneva, 2012, p. 9.
- [30] European Committee for Electrotechnical Standardization, European Standar EN 50413: Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0Hz - 300GHz), Brussels, 2009, p. 10.
- [31] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-T K.61: Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations, Geneva, 2008, p. 5.



- [32] Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, "Multiple-Transmitter Sites and Complex Environments," in *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*, 97-01 ed., Washington, D.C., 1997, p. 38.
- [33] International Telecommunication Union, "Measurements," in *Recommendation ITU-T K.91: Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields*, 1.0 ed., Geneva, 2012, p. 22.
- [34] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación UIT-T K.83: Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético, 1.0 ed., Ginebra, 2011, p. 10.
- [35] European Committee for Electrotechnical Standardization, European Standard EN 50492: Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field related to human exposure in the vicinity of base stations, Brussels, 2008, p. 13.
- [36] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R BS.1195-1: Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF, Geneva, 2013, p. 49.
- [37] Rohde & Schwarz, Monitoring Receiver R&S®ESMB Datasheet, 3.0 ed., Munich, 2003.
- [38] Rohde & Schwarz, VHF UHF DF Antenna ADD 190 - Manual, Munich.
- [39] Rohde & Schwarz, R&S®ARGUS Software de monitoreo - Folleto del producto, 5.0 ed., Munich, 2014.
- [40] Rohde & Schwarz, Monitoring Software R&S ARGUS - Technical Information, 5.4.6 ed., Munich, 2012.
- [41] J. Wiart, "ITU-T Workshop "Human exposure to electromagnetic fields (EMFs)", in *Mobile and Base Station standards developed by CENELEC*, Geneva, 2007.
- [42] European Committee for Electrotechnical Standardization, European Standard EN 50383: Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz - 40 GHz, Brussels, 2010, p. 10.
- [43] International Telecommunication Union, "Time averaging," in *Recommendation ITU-T K.91: Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields*, 1.0 ed., Geneva, 2012, p. 24.
- [44] Joint Committee of Guides and Metrology, JCGM 100:2008: Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1.0 ed., 2008, p. 5.
- [45] B. Vulevic and T. Stalevski, Broadband measurements of RF electromagnetic fields: an example for spatial averaging and uncertainty of measurement, Belgrade, 2015.



Anexo A

Puntos de Investigación Seleccionados y Resultados de Medición



Figura A.1 Punto 1: Barrio Carlos Fonseca.



Figura A.2 Punto 2: Barrio El Chorizo.



Figura A.3 Punto 3: Barrio Luis Alfonso Velásquez.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero



Figura A.4 Punto 4: Barrio Luis Alfonso Velásquez.



Figura A.5 Punto 5: Barrio Edgar Lang.



Figura A.6 Punto 6: Barrio Jonathan González.



Figura A.7 Punto 7: Barrio Edgar Lang.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero



Figura A.8 Punto 8: Barrio Juan José Quezada.

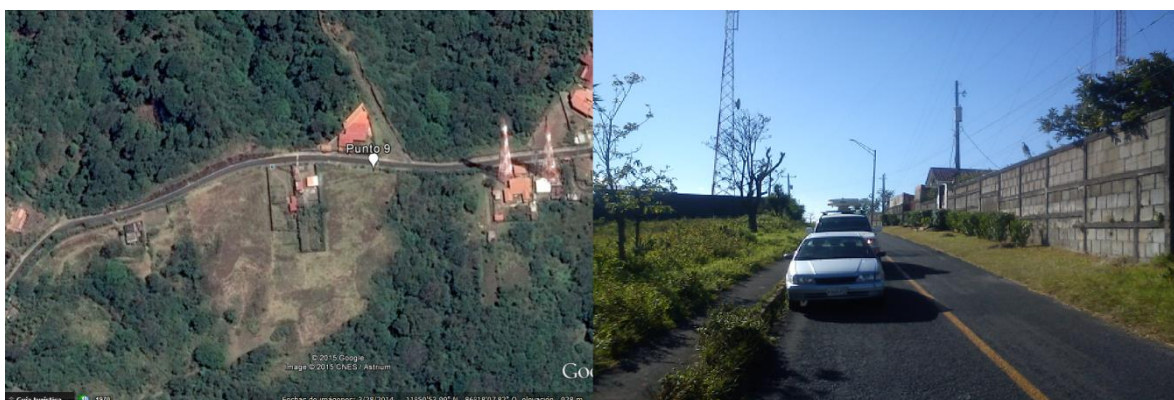


Figura A.9 Punto 9: Carretera El Crucero-Las Nubes.



Figura A.10 Punto 10: Mirador Las Nubes.



Figura A.11 Punto 11: Las Nubes.



Resultados de Medición por Punto

Punto 1

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO1_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO1_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO1_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO1_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 1 FM.xlsx
- PUNTO 1 TV.xlsx
- PUNTO 1 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.00003$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 1 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.003% de los límites aplicados. En la **Figura A.12** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 1 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

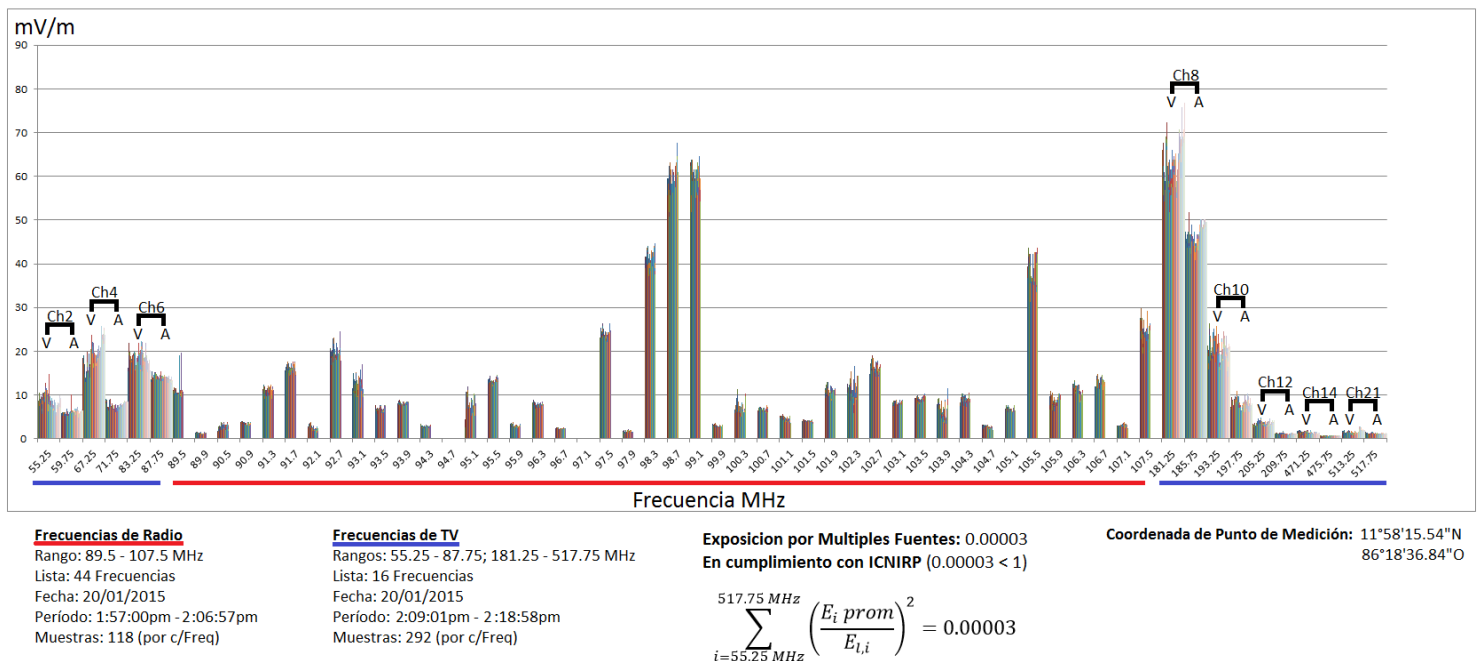


Figura A.12 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Carlos Fonseca.



Punto 2

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO2_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO2_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO2_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO2_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 2 FM.xlsx
- PUNTO 2 TV.xlsx
- PUNTO 2 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_{i \text{ prom}}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.00001$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 2 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.001% de los límites aplicados. En la **Figura A.13** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 2 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

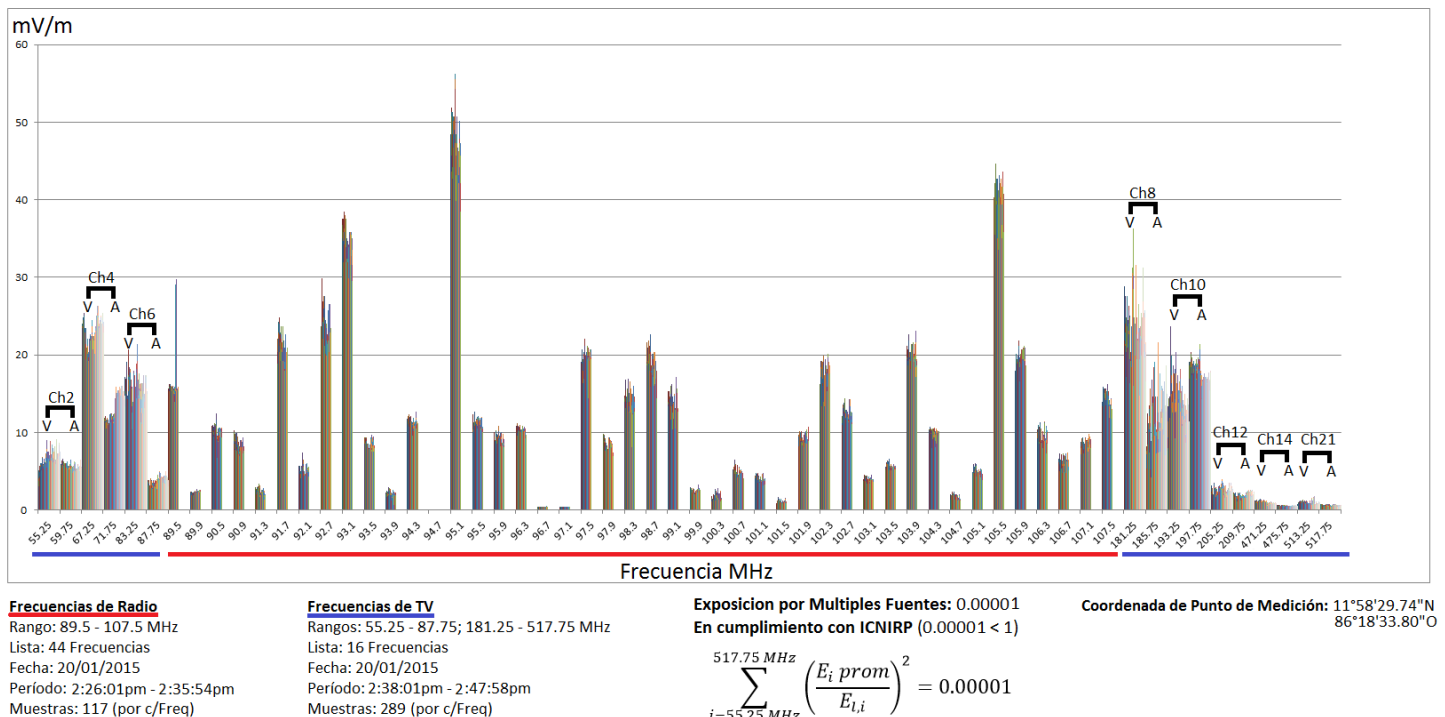


Figura A.13 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio El Chorizo.



Punto 3

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO3_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO3_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO3_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO3_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 3 FM.xlsx
- PUNTO 3 TV.xlsx
- PUNTO 3 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.00005$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 3 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.005% de los límites aplicados. En la **Figura A.14** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 3 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

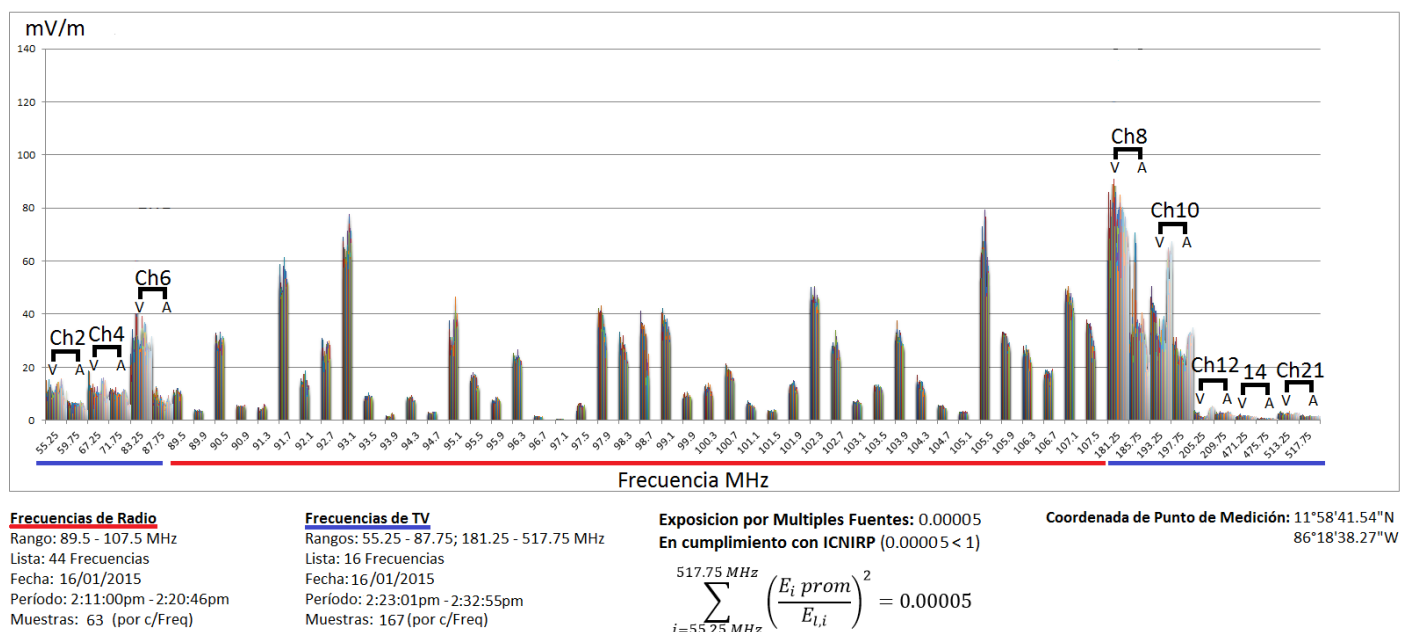


Figura A.14 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Luis Alfonso Velázquez.



Punto 4

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO4_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO4_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO4_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO4_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 4 FM.xlsx
- PUNTO 4 TV.xlsx
- PUNTO 4 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{li}} \right)^2 = 0.0001$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 4 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.01% de los límites aplicados. En la **Figura A.15** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 4 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

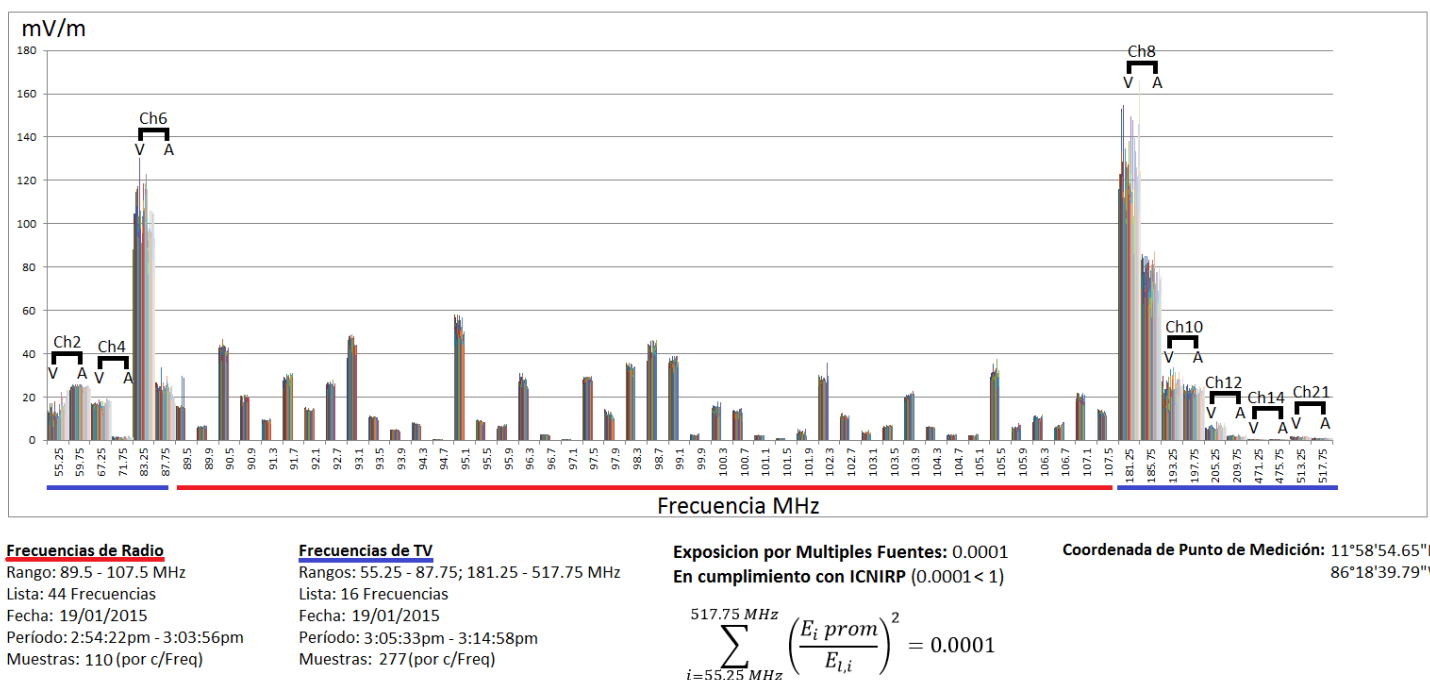


Figura A.15 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Luis Alfonso Velázquez.



Punto 5

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO5_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO5_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO5_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO5_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 5 FM.xlsx
- PUNTO 5 TV.xlsx
- PUNTO 5 TOTAL.xlsx

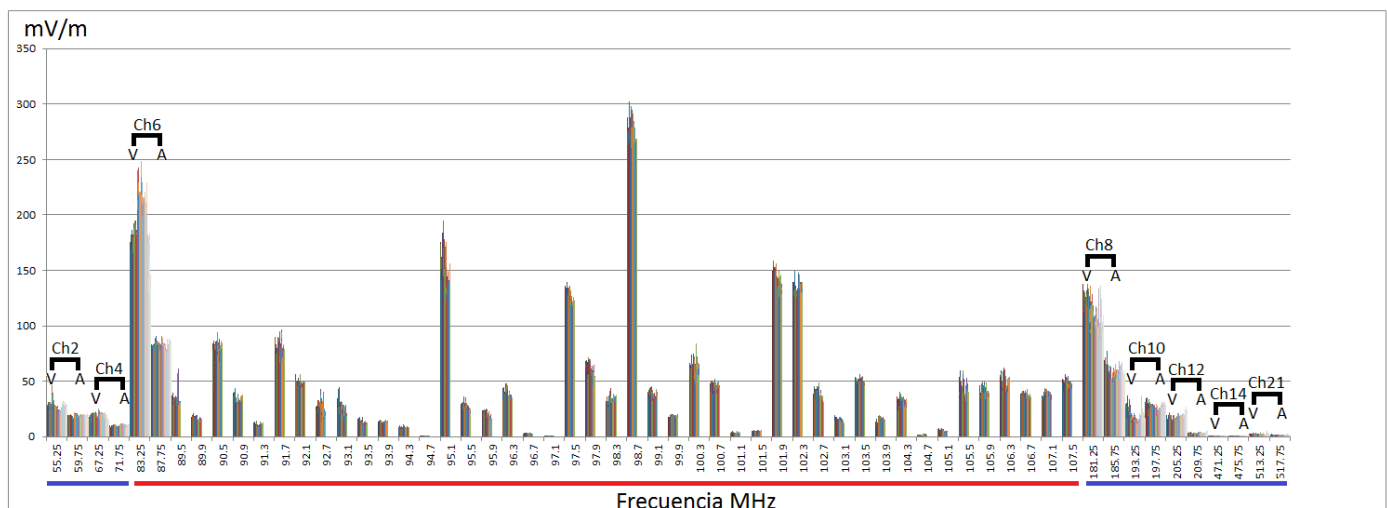
Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0003$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 5 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.03% de los límites aplicados. En la **Figura A.16** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 5 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico



Frecuencias de Radio

Rango: 89.5 - 107.5 MHz

Lista: 44 Frecuencias

Fecha: 20/01/2015

Período: 3:12:00pm - 3:21:53pm

Muestras: 117 (por c/Freq)

Frecuencias de TV

Rangos: 55.25 - 87.75; 181.25 - 517.75 MHz

Lista: 16 Frecuencias

Fecha: 20/01/2015

Período: 3:23:00pm - 3:32:59pm

Muestras: 303 (por c/Freq)

Exposición por Múltiples Fuentes: 0.0003

En cumplimiento con ICNIRP (0.0003 < 1)

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0003$$

Coordenada de Punto de Medición: 11°59'8.41"N
86°18'31.55"W

Figura A.16 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Edgar Lang.



Punto 6

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO6_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO6_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO6_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO6_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 6 FM.xlsx
- PUNTO 6 TV.xlsx
- PUNTO 6 TOTAL.xlsx

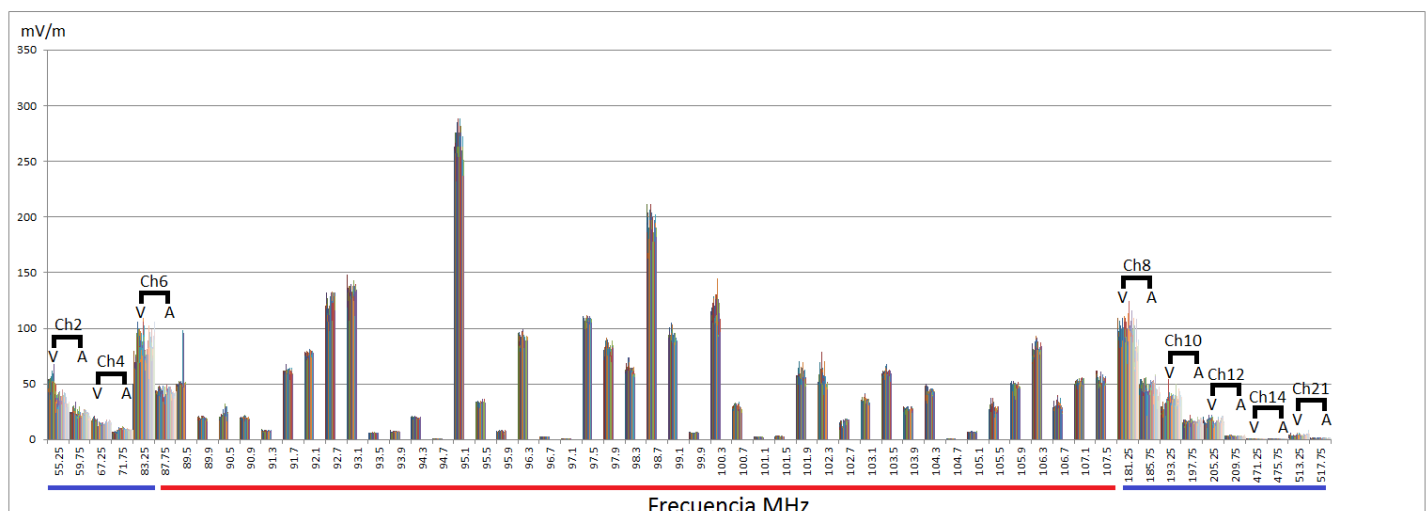
Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0003$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 6 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.03% de los límites aplicados. En la **Figura A.17** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 6 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico



Frecuencias de Radio

Rango: 89.5 - 107.5 MHz
Lista: 44 Frecuencias
Fecha: 19/01/2015
Período: 2:29:00pm - 2:38:55pm
Muestras: 112 (por c/Freq)

Frecuencias de TV

Rangos: 55.25 - 87.75; 181.25 - 517.75 MHz
Lista: 16 Frecuencias
Fecha: 19/01/2015
Período: 2:41:01pm - 2:50:58pm
Muestras: 280 (por c/Freq)

Exposición por Múltiples Fuentes: 0.0003
En cumplimiento con ICNIRP (0.0003 < 1)

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0003$$

Coordenada de Punto de Medición: 11°59'14.78"N
86°18'38.73"W

Figura A.17 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Jonathan González.



Punto 7

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO7_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO7_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO7_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO7_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 7 FM.xlsx
- PUNTO 7 TV.xlsx
- PUNTO 7 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.002$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 7 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 0.2% de los límites aplicados. En la **Figura A.18** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 7 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

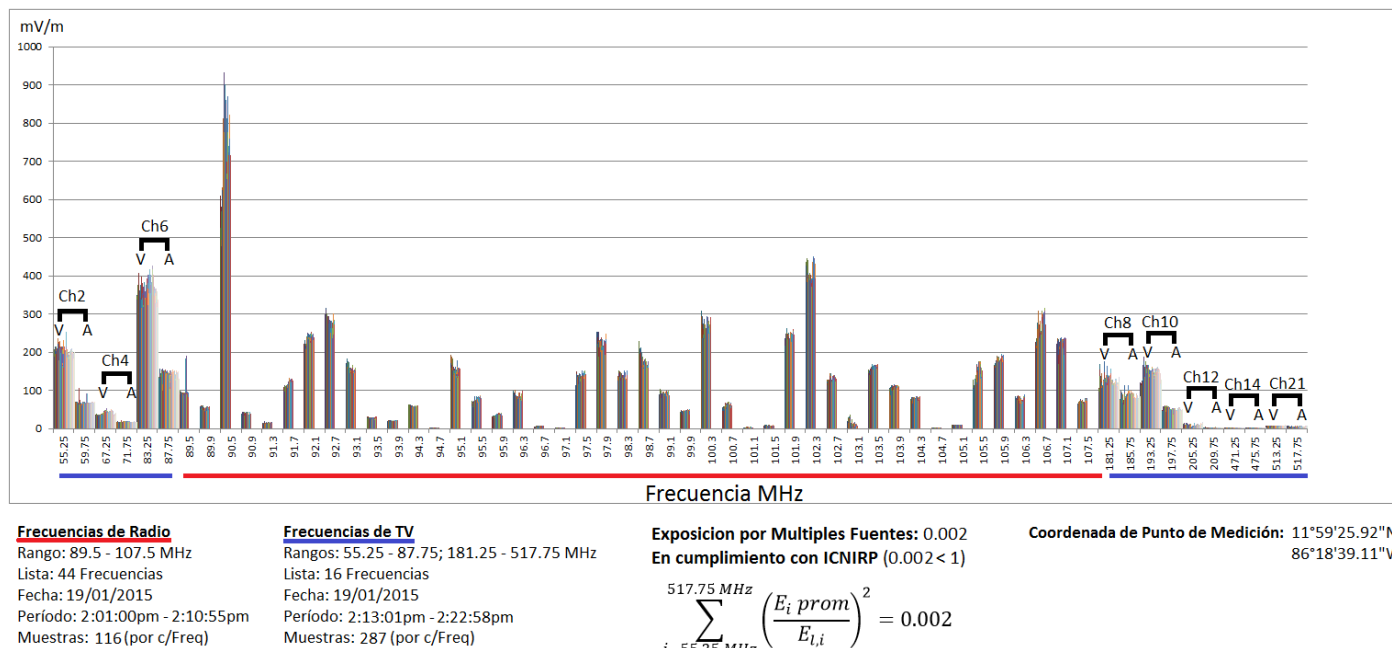


Figura A.18 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Edgar Lang.



Punto 8

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO8_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO8_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO8_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO8_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 8 FM.xlsx
- PUNTO 8 TV.xlsx
- PUNTO 8 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0416$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 8 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 4.16% de los límites aplicados. En la **Figura A.19** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 8 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

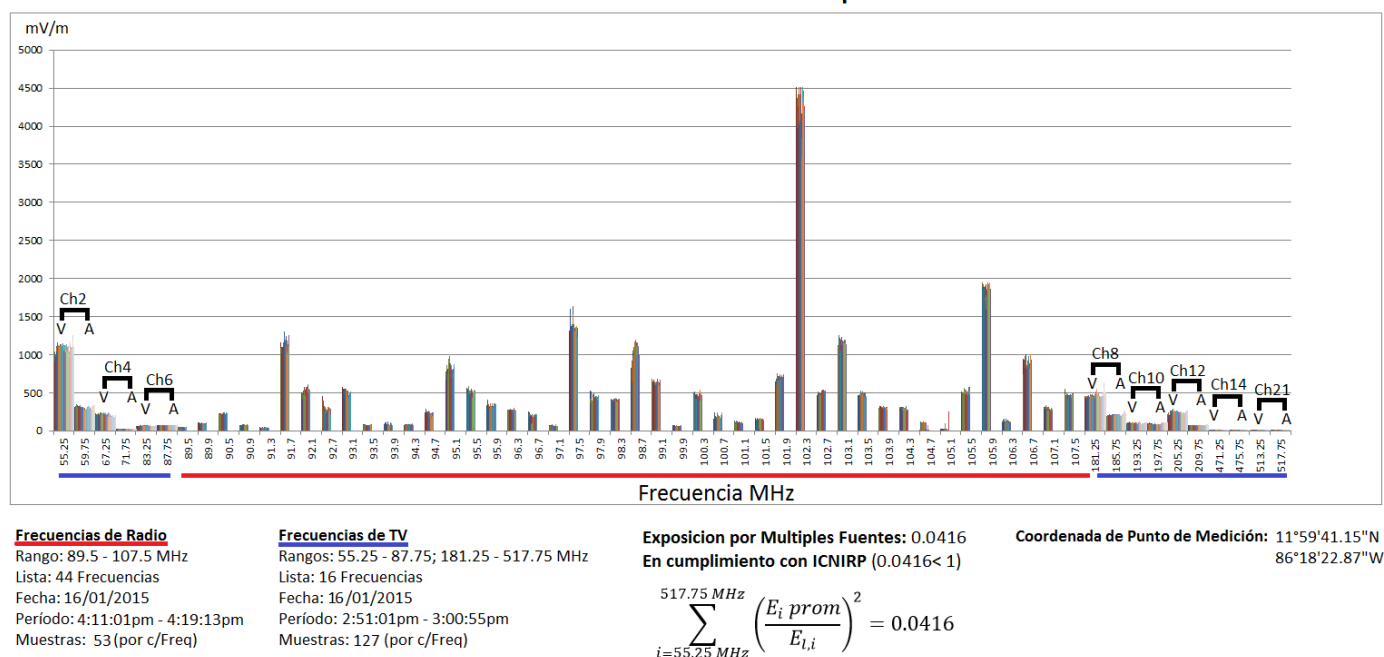


Figura A.19 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Barrio Juan José Quezada.



Punto 9

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO9_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO9_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO9_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO9_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 9 FM.xlsx
- PUNTO 9 TV.xlsx
- PUNTO 9 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0381$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 9 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 3.81% de los límites aplicados. En la **Figura A.20** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 9 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico

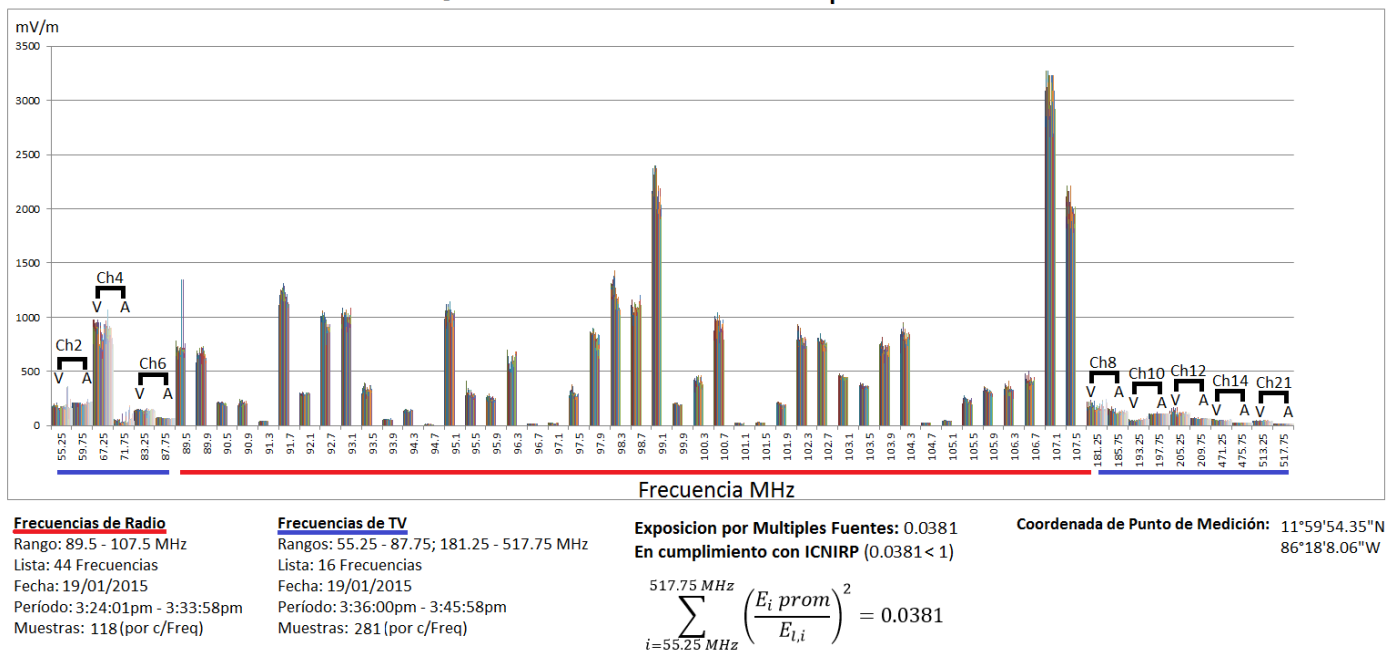


Figura A.20 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en la Carretera El Crucero-Las Nubes.



Punto 10

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO10_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO10_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO10_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO10_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 10 FM.xlsx
- PUNTO 10 TV.xlsx
- PUNTO 10 TOTAL.xlsx

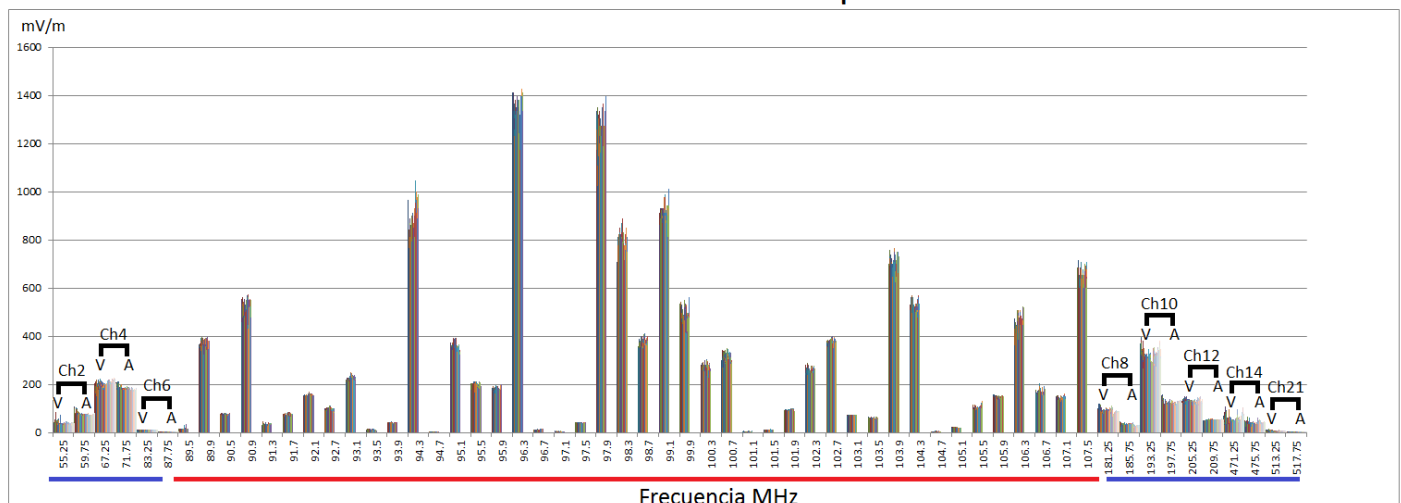
Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0107$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 10 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 1.07% de los límites aplicados. En la **Figura A.21** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

PUNTO 10 - Medición de Intensidad de Campo Eléctrico



Frecuencias de Radio

Rango: 89.5 - 107.5 MHz

Lista: 44 Frecuencias

Fecha: 19/01/2015

Período: 3:54:01pm - 4:03:58pm

Muestras: 118 (por c/Freq)

Frecuencias de TV

Rangos: 55.25 - 87.75; 181.25 - 517.75 MHz

Lista: 16 Frecuencias

Fecha: 19/01/2015

Período: 4:05:00pm - 4:14:57pm

Muestras: 292 (por c/Freq)

Exposición por Múltiples Fuentes: 0.0107

En cumplimiento con ICNIRP (0.0107 < 1)

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0107$$

Coordenada de Punto de Medición: 12° 0'5.30"N

86°17'45.66"W

Figura A.21 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en el Mirador Las Nubes.



Punto 11

Archivos de Información de Medición:

- UNI-FMPUNTO11_INFO.txt
- UNI-TVPUNTO11_INFO.txt

Archivos de Resultados de Medición:

- UNI-FMPUNTO11_RESULTADOS.txt
- UNI-TVPUNTO11_RESULTADOS.txt

Archivos de Tratamiento de Datos:

- PUNTO 11 FM.xlsx
- PUNTO 11 TV.xlsx
- PUNTO 11 TOTAL.xlsx

Calculo de Exposición Total

Según los datos de medición obtenidos en este punto de investigación (véase **Tabla 7.7**), el Coeficiente de Exposición Total a las fuentes de CEM consideradas, aplicando la Ec. (6-4), es:

$$\sum_{i=55.25 \text{ MHz}}^{517.75 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i \text{ prom}}{E_{l,i}} \right)^2 = 0.0165$$

Basándose en este resultado se concluye que el Punto 11 se encuentra en cumplimiento con los límites de exposición al público en general de ICNIRP, pues representa un 1.65% de los límites aplicados. En la **Figura A.22** se muestra una gráfica con los resultados de medición de este punto de investigación.

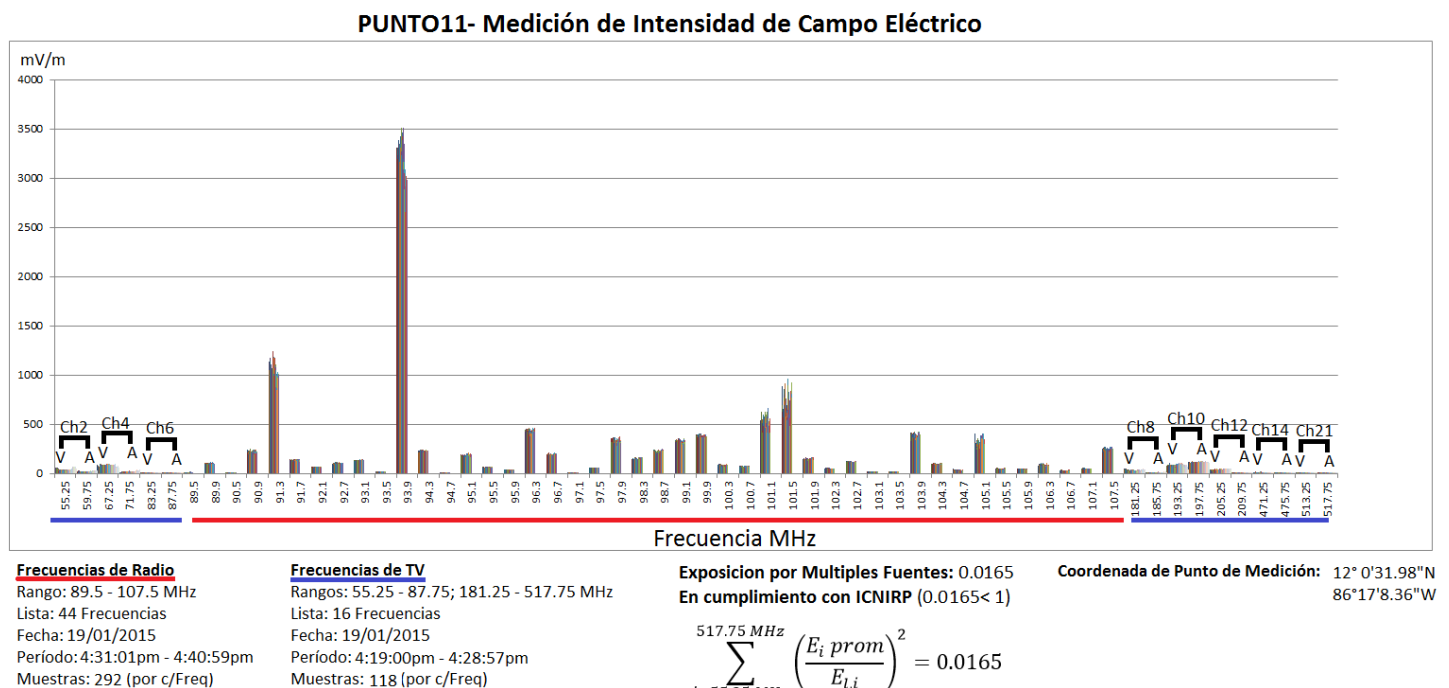


Figura A.22 Representación gráfica de niveles de intensidad de campo eléctrico medidos en 60 frecuencias en Las Nubes.



Anexo B

Procedimiento de Medición con Software Argus Mon 4.3 [40]

Modo de Medición Automático

El modo de medición automático es utilizado para realizar mediciones de forma automática conforme a un horario establecido. El usuario puede definir las tareas e iniciarlas. Las mediciones se realizarán exactamente a como fueron definidas por el usuario.

Para cada frecuencia y parámetro, un límite superior y/o inferior puede ser definido.

Este modo sirve para dos propósitos fundamentales:

- I. Realiza tareas de medición según un horario de tiempo específico.
- II. Detecta automáticamente si un resultado en tiempo real está fuera de un rango de valores definido por el usuario (por ejemplo, si se excede un valor umbral) y responde según lo ha definido el usuario.

Los resultados pueden ser almacenados en diferentes formatos:

- I. Resultado de medición: Todos los resultados son almacenados.
- II. Max. Hold: Solo se almacena un registro de datos con el máximo valor histórico para cada frecuencia.

Se utilizan 3 archivos para definir las tareas de la medición automática:

- Definición de Rango
- Definición de Medición
 - Lista de Frecuencias
- Definición de Horario

Estos archivos pueden crearse desde el Menú Navegador del software, mostrado en la **Figura B.1.**

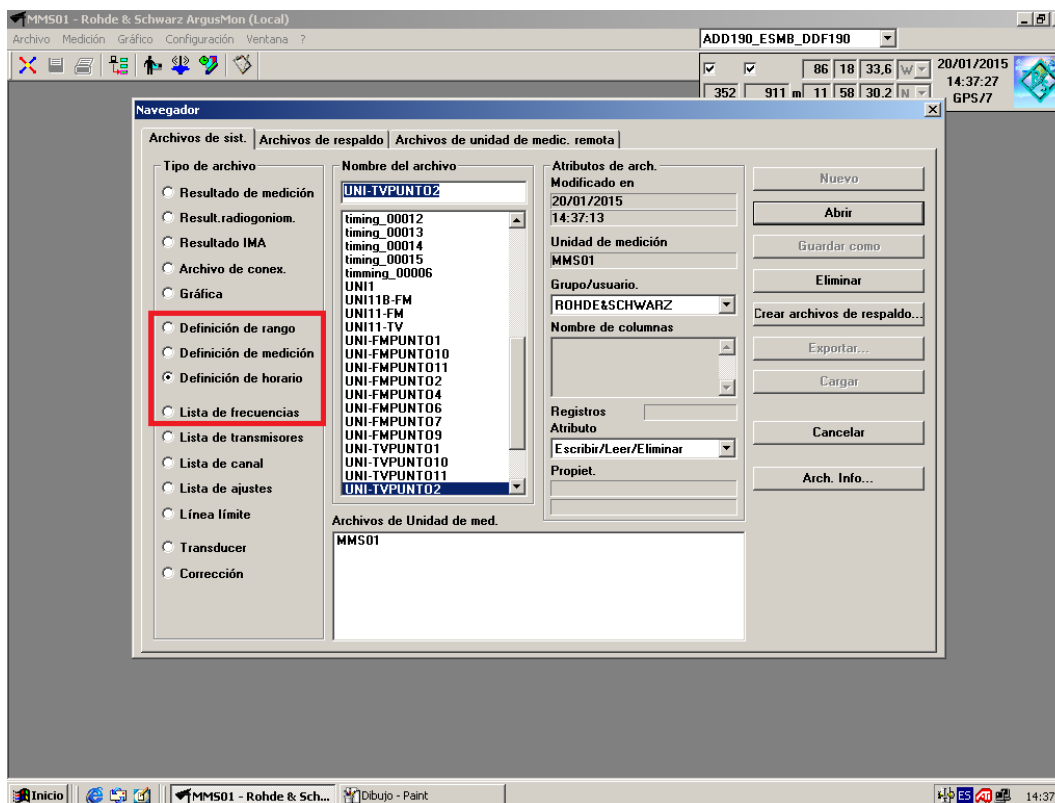


Figura B.1 Menú Navegador R&S ARGUS.

B.1 Definición de Rango

El primer archivo de definición es la definición de rango, mostrado en la **Figura B.2**. Para todos los rangos de frecuencia de interés, el usuario puede definir los dispositivos individuales que se usarán y sus ajustes. Los parámetros de medición disponibles para todos los sub-rangos también son presentados. Este procedimiento asegura que las mediciones sean realizadas siempre con el equipo y ajustes de dispositivo apropiados. El archivo creado puede ser almacenado en el sistema con un nombre definido por el usuario para ser posteriormente seleccionado desde los siguientes archivos.

Parámetros de Medición Disponibles – El usuario puede seleccionar el parámetro de medición de interés.

Level – Offset – AM – AM pos – AM neg – FM – FM pos – FM neg – PM – (otros)

El parámetro *Level*, por ejemplo, indicará el nivel de intensidad de campo eléctrico medido.

Rango de Medición – El usuario puede determinar el rango de frecuencias a medir.

Ruta del Sistema – El usuario puede seleccionar los dispositivos a utilizar para realizar la medición. Para el caso de una estación con más de una antena conectada a un solo receptor, se define cual será la antena a utilizar. La selección de la Ruta de Sistema se muestra en la **Figura B.3**. O bien puede visualizarse desde el Panel de Control Virtual del software, mostrado en la **Figura B.5**.

Para determinar el rango de medición es importante tomar en cuenta tanto el ancho de banda del receptor como el ancho de banda de la antena seleccionada. Este último



parámetro se puede verificar al presionar el icono de antena que aparece en el archivo de definición de rango, a como se muestra en la **Figura B.4**.

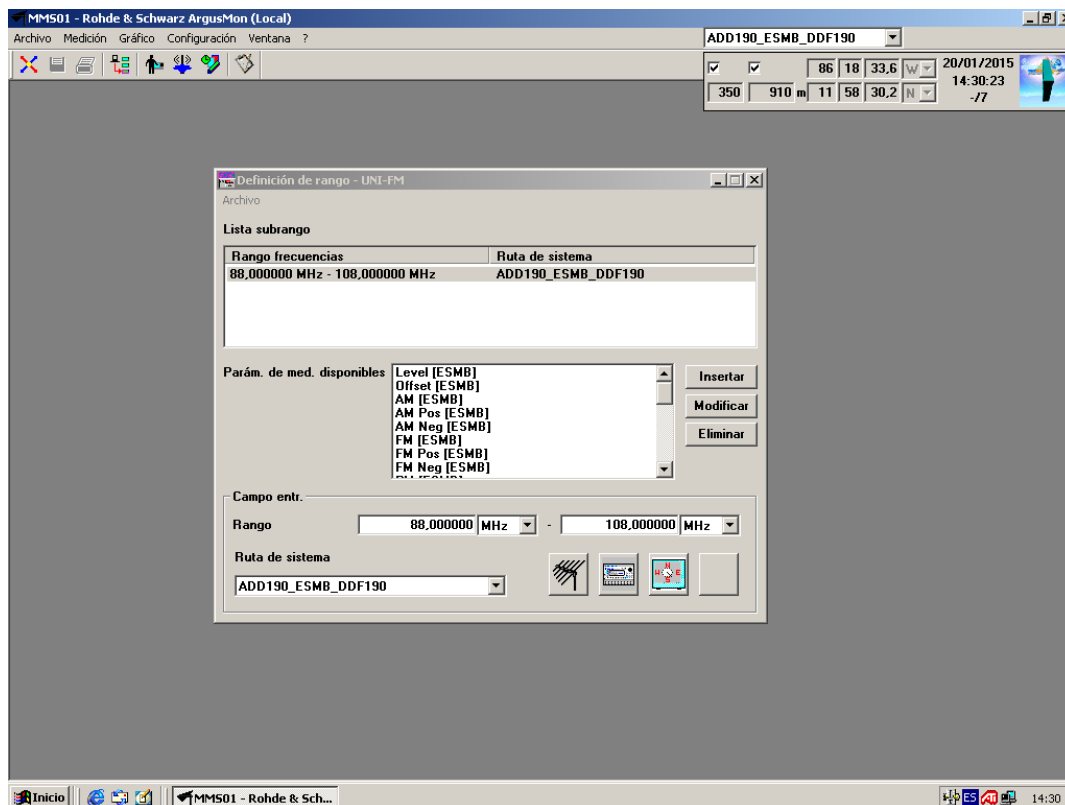


Figura B.2 Archivo de Definición del Rango de Medición.

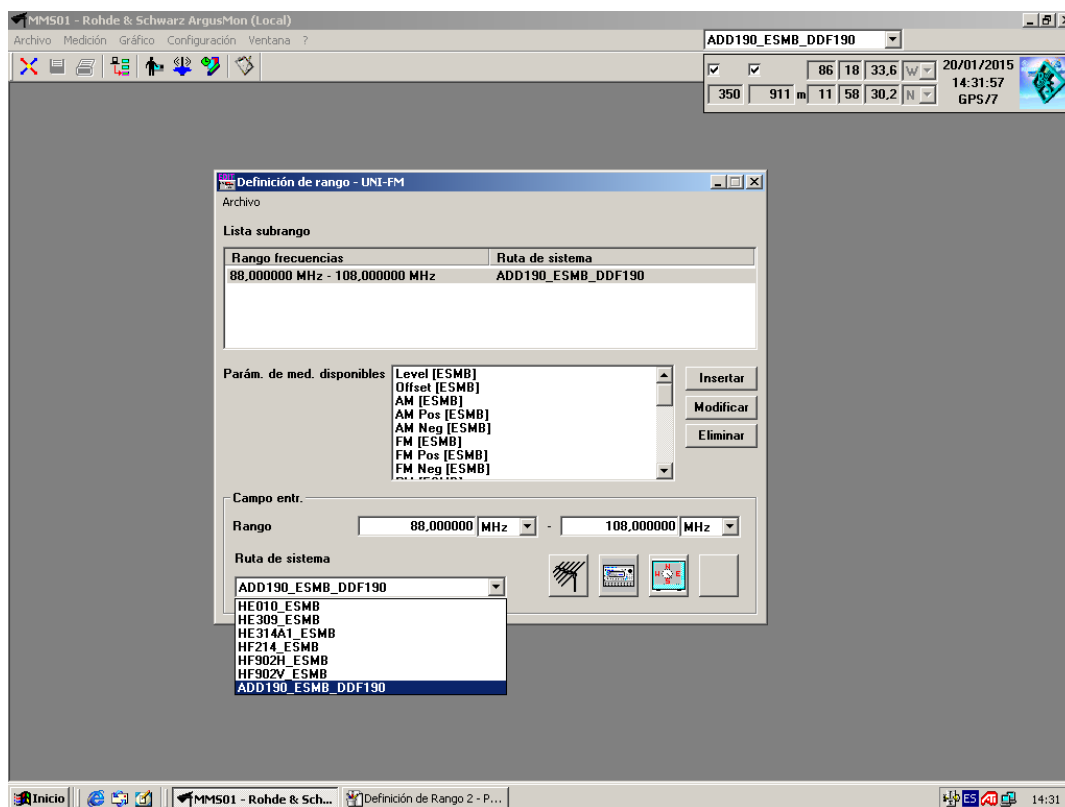


Figura B.3 Selección de Ruta de Sistema – Dispositivos a Utilizar.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

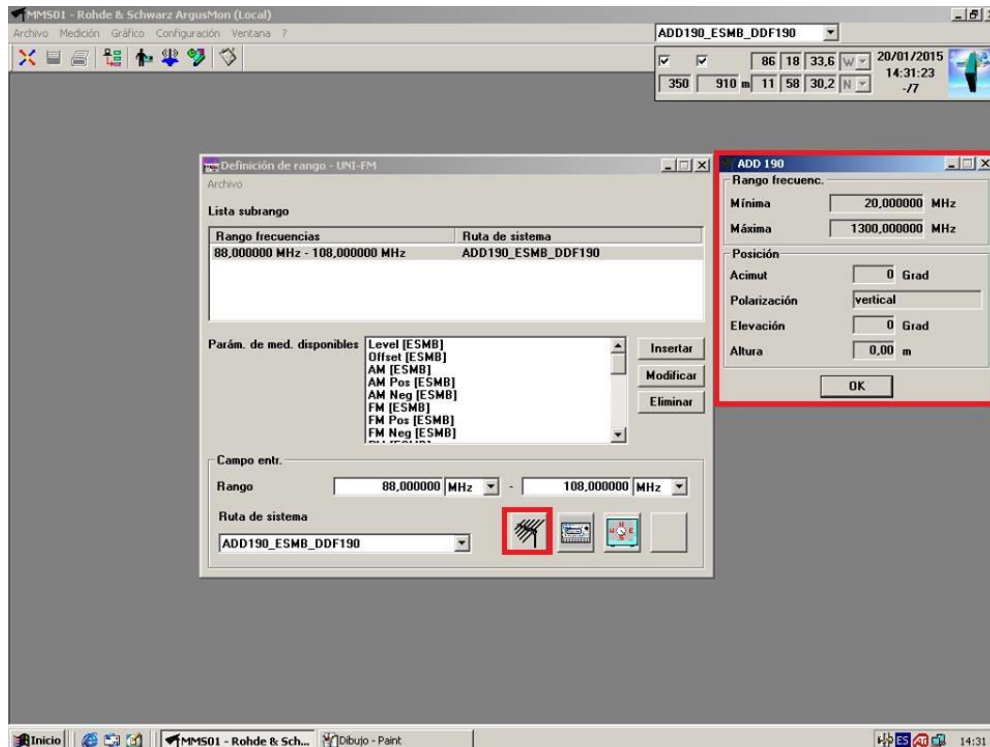


Figura B.4 Visualización de Parámetros de Antena Seleccionada.

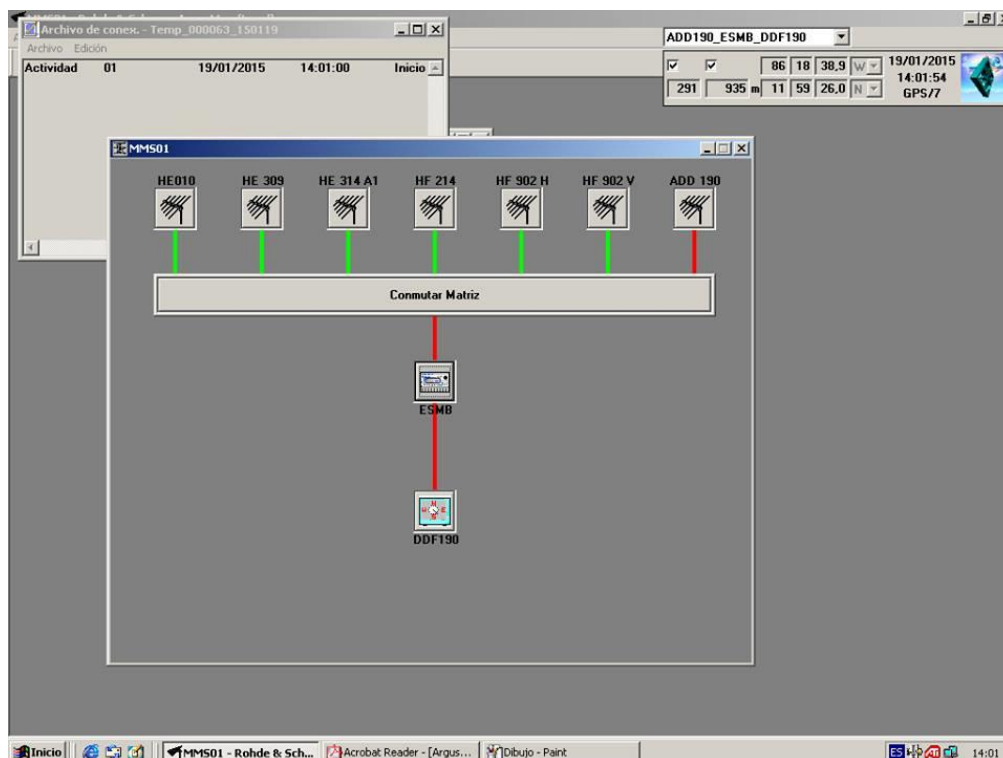


Figura B.5 Visualización de Ruta de Sistema en Panel de Control Virtual.



B.2 Definición de Medición

Este archivo es mostrado en la **Figura B.6**. Se crea para determinar el rango de frecuencias a medir, el tipo de medición y el parámetro a medir. El usuario puede almacenarlo en el sistema con un nombre específico.

Definición de Rango – Se selecciona el archivo de definición de rango con el que trabajara la medición (véase **inciso B.1**). Este archivo contiene la información de los dispositivos seleccionados y parámetros apropiados. Ha sido creado previamente y posee un nombre específico definido por el usuario.

Tipo de Medición – Se selecciona el tipo de medición a implementar, que puede ser uno de los siguientes:

Rastreo – Rastreo de Lista de Frecuencias – Rastreo por Lista de Transmisores – Modo de Frecuencia Fija

El rastreo por lista de frecuencias permite medir el parámetro seleccionado para dos o más frecuencias específicas definidas en una Lista de Frecuencias. Esta Lista debe crearse previamente al archivo de definición de medición.

a) Lista de Frecuencias

La Lista de Frecuencias es utilizada únicamente en la medición por Rastreo de Lista de Frecuencias. Consiste en una lista que contiene todas las frecuencias de interés para la medición. Esta lista puede almacenarse en el sistema como un archivo con un nombre, para ser posteriormente seleccionada en el archivo de definición de medición. Este archivo de Lista de Frecuencias puede crearse desde el Menú Navegador (véase **Figura B.1**).

La creación de una lista de frecuencias a medir, para el caso de esta investigación, es un paso específico del proceso de evaluación de exposición global por medio de la medición en frecuencia selectiva.

Parámetro de Medición – Para el tipo de medición seleccionado se define nuevamente el parámetro a medir. La selección de este es mostrada en la **Figura B.7**.

El parámetro *FL Scan Level* indicará el nivel de intensidad de campo eléctrico medido para cada frecuencia de la Lista de Frecuencias seleccionada.

Una vez definidos todos los parámetros en el archivo de definición de medición este se debe almacenar con un nombre específico en el sistema.

El archivo de definición de medición integra los dos archivos creados anteriormente: Definición de Rango (**inciso B.1**) y Lista de Frecuencias (**inciso B.2.a**).



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

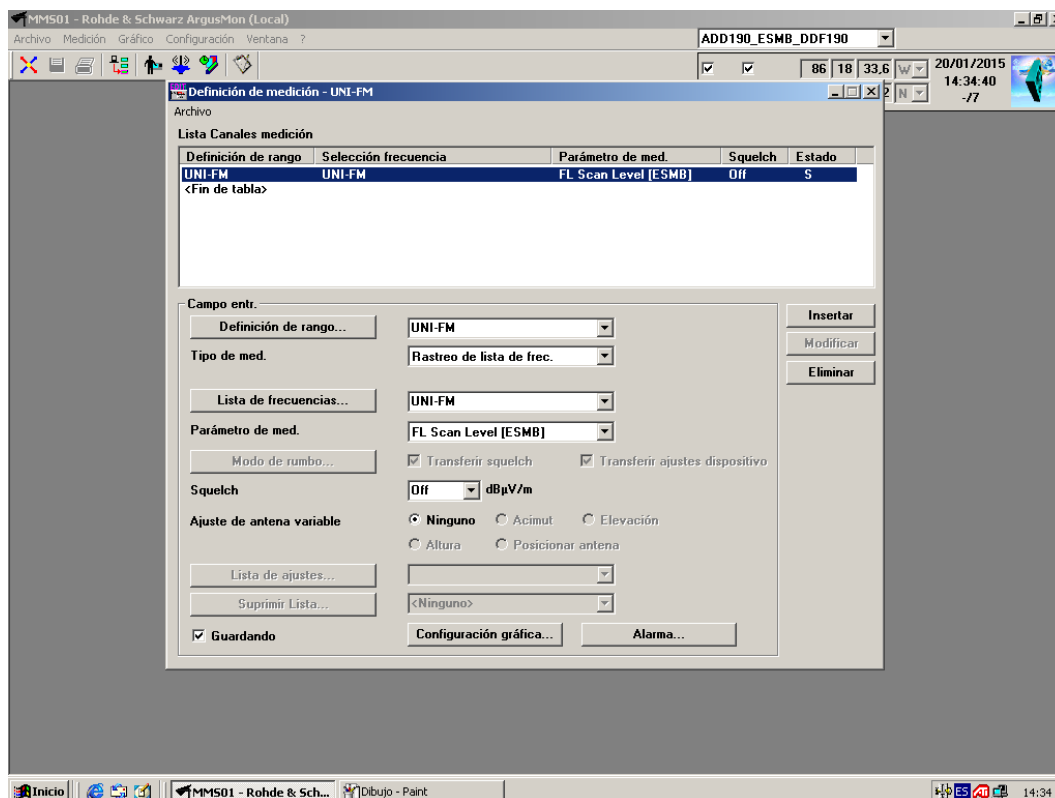


Figura B.6 Archivo de Definición de Medición.

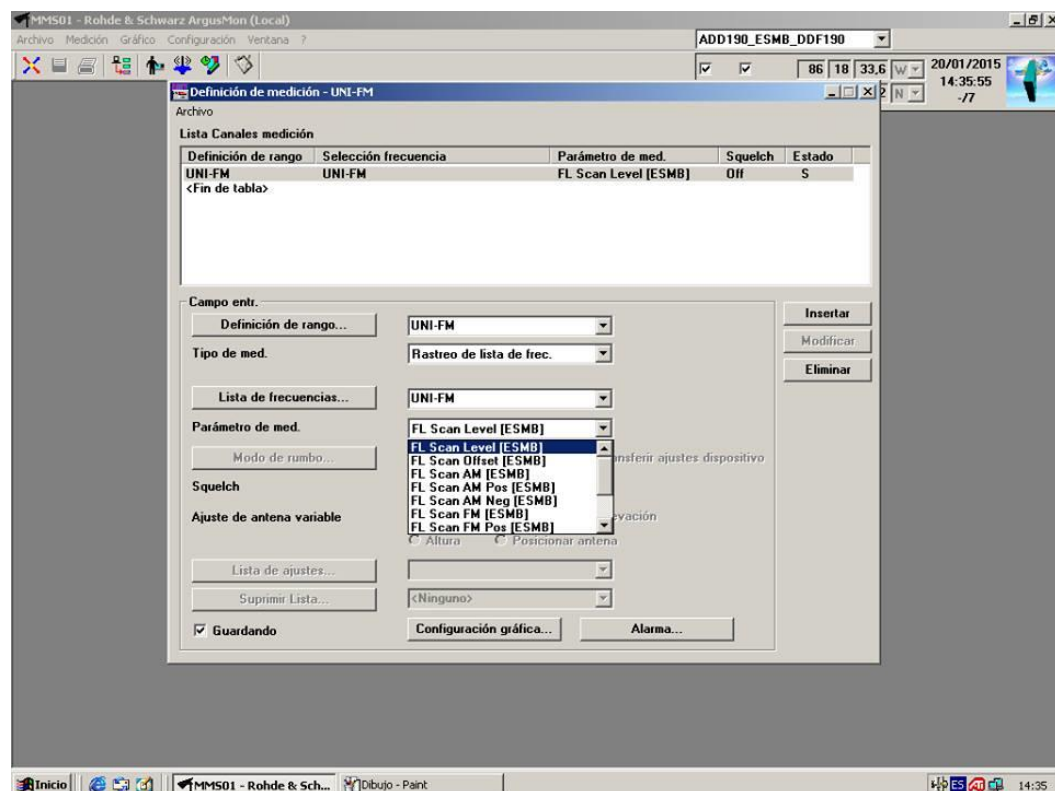


Figura B.7 Selección de Parámetro de Medición.



B.3 Definición de Horario

El tercer archivo de definición es la definición de tiempo, en que el usuario selecciona el archivo de definición de medición, la fecha inicial y final, la hora de inicio y stop diario. El día de la semana en que las mediciones han de realizarse también puede seleccionarse. Este archivo se muestra en la **Figura B.8**.

El propósito de la definición de horario es automatizar el inicio y fin del proceso de medición. El periodo de tiempo abarcado por estos dos momentos es denominado Intervalo de Medición (**T**), pues denota el tiempo durante el cual se realizara la medición de niveles de intensidad de CEM. ICNIRP recomienda un Intervalo de Medición $T \geq 6m$.

El archivo de definición de horario integra el archivo de definición de medición, y por lo tanto también integra los archivos de definición de rango y lista de frecuencias.

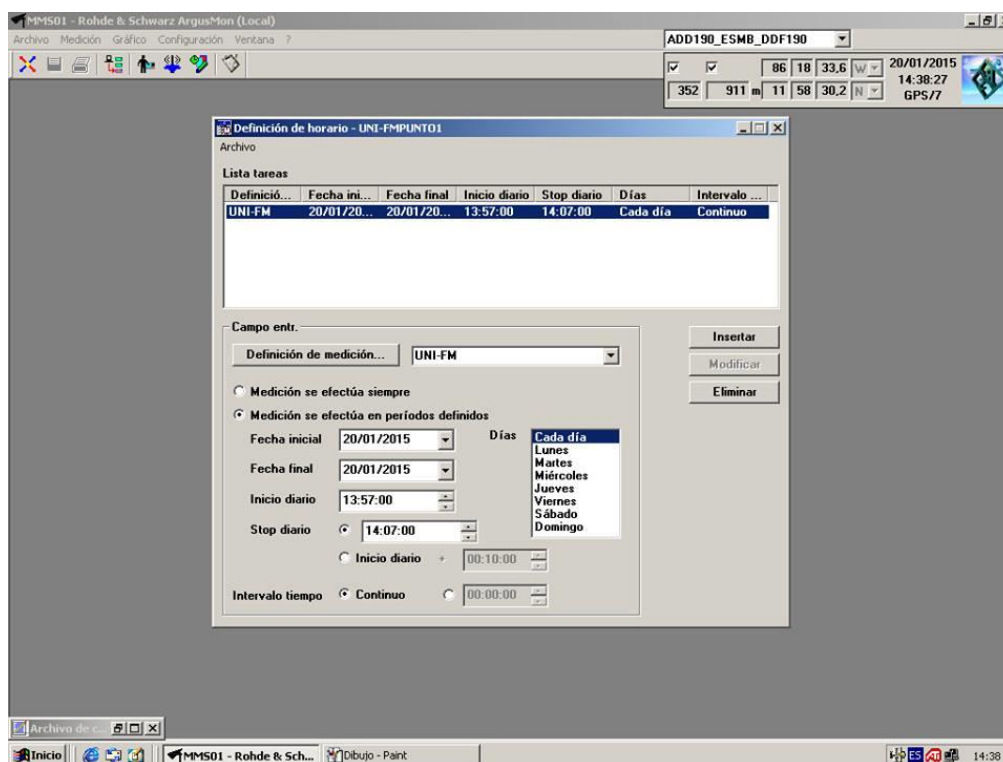


Figura B.8 Archivo de Definición del Horario de Medición.

B.4 Parámetros de Medición

Los parámetros a definir para la medición en frecuencia selectiva deben ingresarse en el archivo de configuración de la función de Rastreo por Lista de Frecuencias, el cual se encuentra en el archivo de configuración remota del receptor ESMB y es mostrado en la **Figura B.9**. Estos parámetros son:

- **Selección de Archivo de Lista de Frecuencias a ocupar** (véase inciso B.2.a)
- **Selección del Tipo de Detector:** RMS, Average, MaxHold (véase inciso 4.2)
- **Selección del Tipo de Demodulación:** AM, FM, PM
- **Ajuste de Ancho de Banda de Frecuencia Intermedia (FI):** 120 KHz (véase Tabla 6.10)



- Selección de Control de Ganancia (GC): Automatic Gain Control (AGC)
- Ajuste de Tiempo de Medición (Tiempo de Muestreo): 100 ms (ver Tabla 6.10)

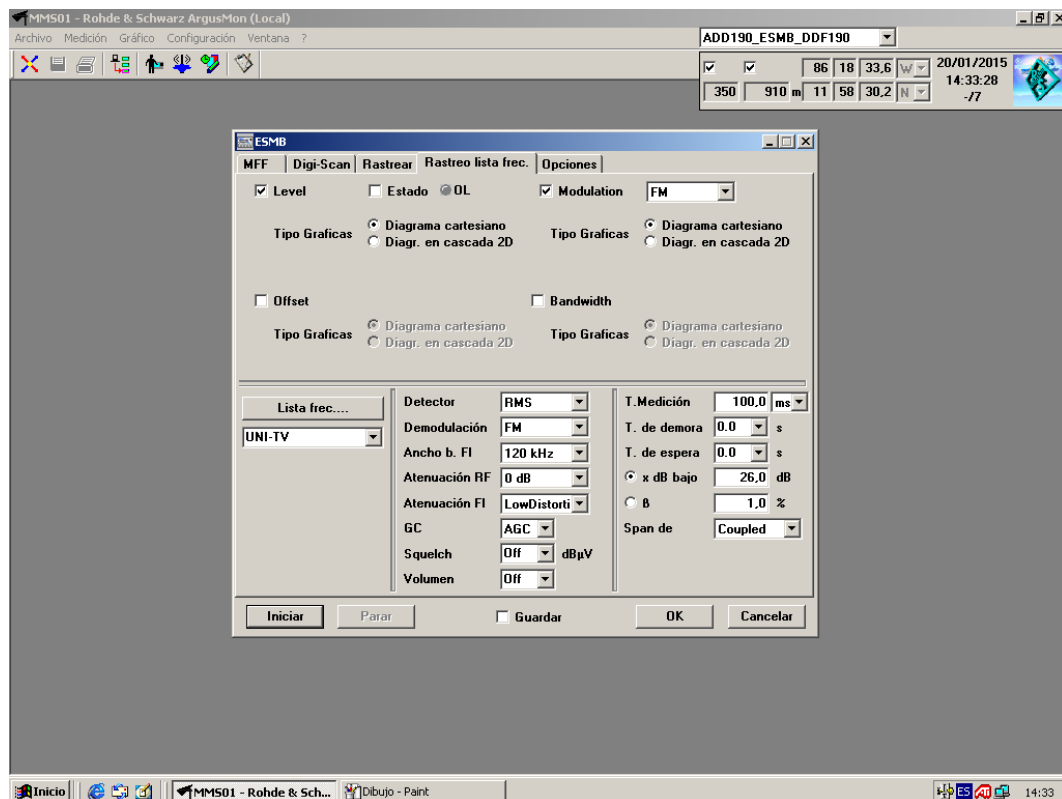


Figura B.9 Archivo de Configuración de la función de Rastreo por Lista de Frecuencias.

B.5 Proceso de Medición

En la ventana de visualización del Modo de Medición Automático, mostrada en la **Figura B.10**, se indica el número del trabajo de medición que sigue a continuación. También se define el archivo de definición de horario con que se va a trabajar.

Al hacer click en '**Inicio**' se ejecuta el proceso de medición.

Posteriormente el sistema espera que se cumpla la Hora de Inicio para dar inicio a la medición tal y como fue definida por el usuario. Al cumplirse esta hora aparecerá la ventana de "Archivo de Conexión" mostrada en la **Figura B.11** donde se indica un "**Inicio**" en el registro de actividad con la fecha y la hora.

Al finalizar la medición se indicara un "**Alto**" en el registro de actividad, a como se muestra en la **Figura B.12**, y se podrá proceder al análisis de los resultados obtenidos.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

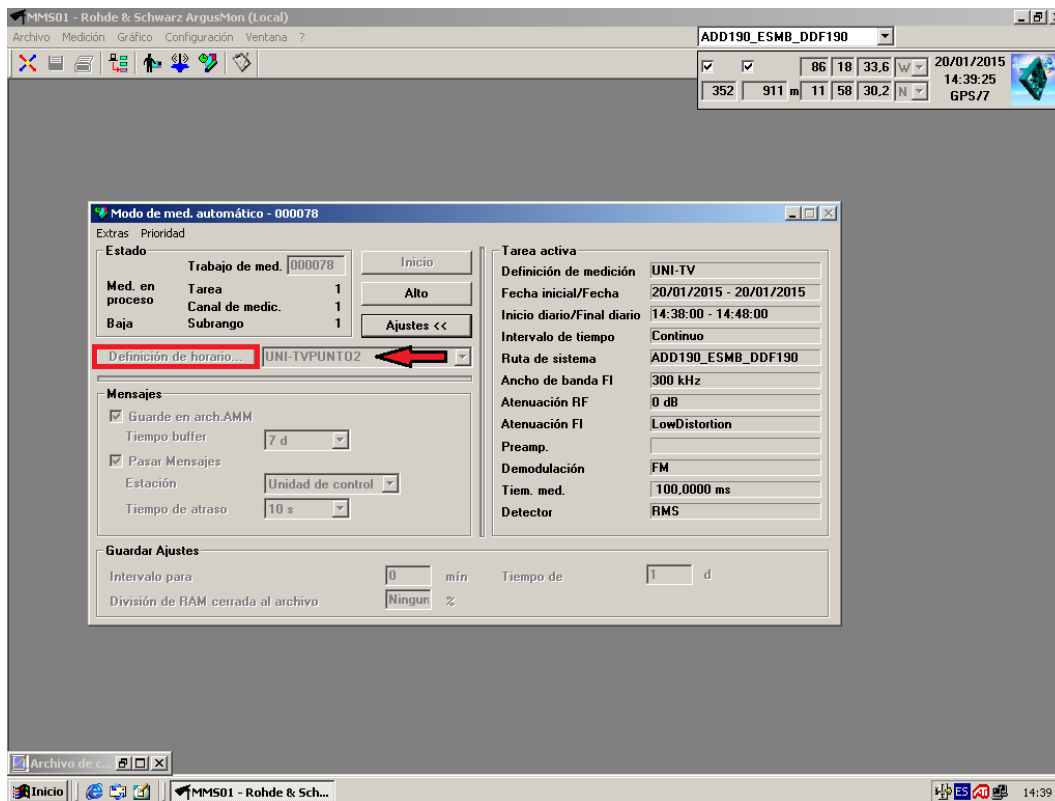


Figura B.10 Ventana de visualización del Modo de Medición Automático.

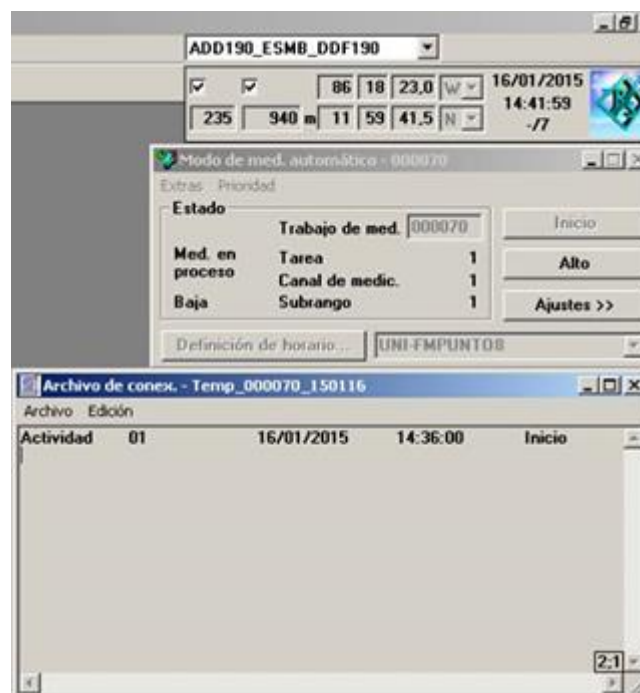


Figura B.11 Inicio del Proceso de Medición Automática.

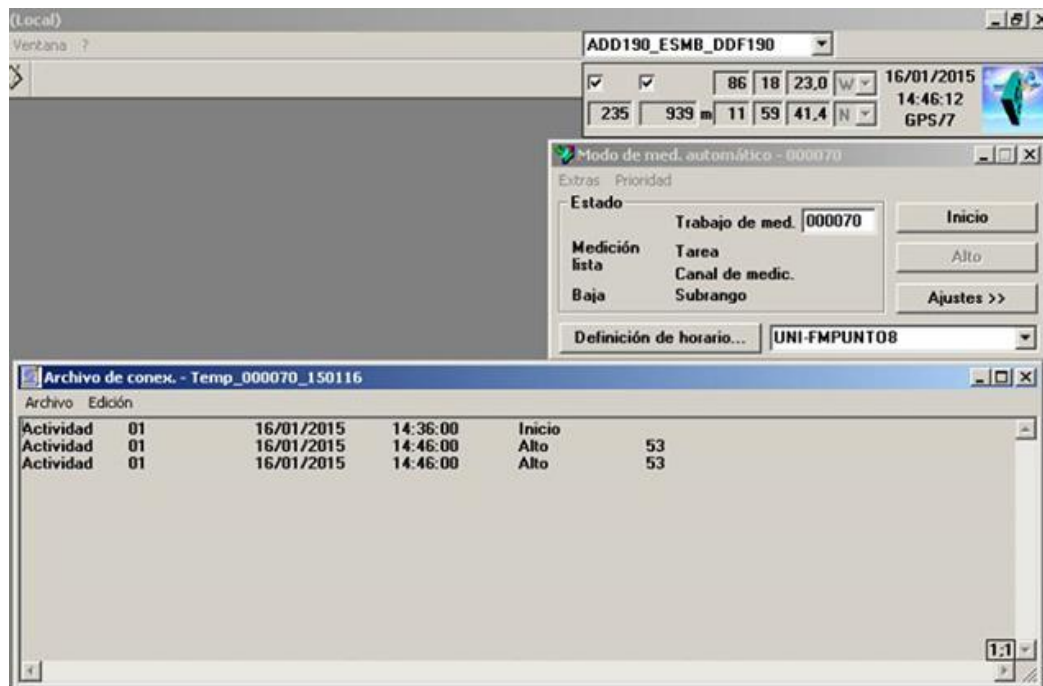


Figura B.12 Finalización del Proceso de Medición Automática.

B.6 Resultados de Medición

Los resultados de medición consisten en una base de datos alfanumérica y matricial que puede ser almacenada como un archivo de texto (.txt) y con un nombre asignado por el usuario. En la **Figura B.13** es presentado un ejemplo de resultados de medición.

Esta base de datos contiene información de los niveles de intensidad medidos, obteniéndose una muestra por cada frecuencia y por cada ciclo de medición. La cantidad de muestras tomadas por frecuencia depende de los parámetros de tiempo definidos por el usuario y se pueden aproximar con las siguientes fórmulas:

$$No. de Muestras Totales = \frac{Intervalo de Medición}{Tiempo de muestreo}$$

$$No. de Muestras por Frecuencia = \frac{No. de Muestras Totales}{No. de Frecuencias Medidas}$$

Los resultados pueden ser analizados por medio de la función de Visualización de Resultados del software, mediante la cual se pueden obtener representaciones gráficas, como es mostrado en la **Figura B.14**.

No obstante, el archivo de texto también puede ser transferido a un dispositivo externo (Flash Drive). Lo que permite su post-procesamiento mediante herramientas de hojas de cálculo y programación como los softwares *Microsoft Excel* y *MatLab*.



Resultado de medición - UNI-FMPUNTOS

Archivo Edición Configuración

Fecha + Hora	Frecuencia	Level
	MHz	dBμV/m
16/01/2015 16:11:00,836	89,500000	80,6
16/01/2015 16:11:00,836	89,900000	72,8
16/01/2015 16:11:00,836	90,500000	90,4
16/01/2015 16:11:00,836	90,900000	75,5
16/01/2015 16:11:00,836	91,300000	73,7
16/01/2015 16:11:00,836	91,700000	94,1
16/01/2015 16:11:00,836	92,100000	82,3
16/01/2015 16:11:00,836	92,700000	89,8
16/01/2015 16:11:00,836	93,100000	96,8
16/01/2015 16:11:00,836	93,500000	77,2
16/01/2015 16:11:00,836	93,900000	65,0
16/01/2015 16:11:00,836	94,300000	78,5
16/01/2015 16:11:00,836	94,700000	70,2
16/01/2015 16:11:00,836	95,100000	91,5
16/01/2015 16:11:00,836	95,500000	83,5
16/01/2015 16:11:00,836	95,900000	78,0
16/01/2015 16:11:00,836	96,300000	87,2
16/01/2015 16:11:00,836	96,700000	64,7
16/01/2015 16:11:00,836	97,100000	51,9

Campo entrada

16/01/2015 16:11:00,836 89,500000 80,6

Insertar Modificar Eliminar

Figura B.13 Ejemplo de Resultados de Medición.

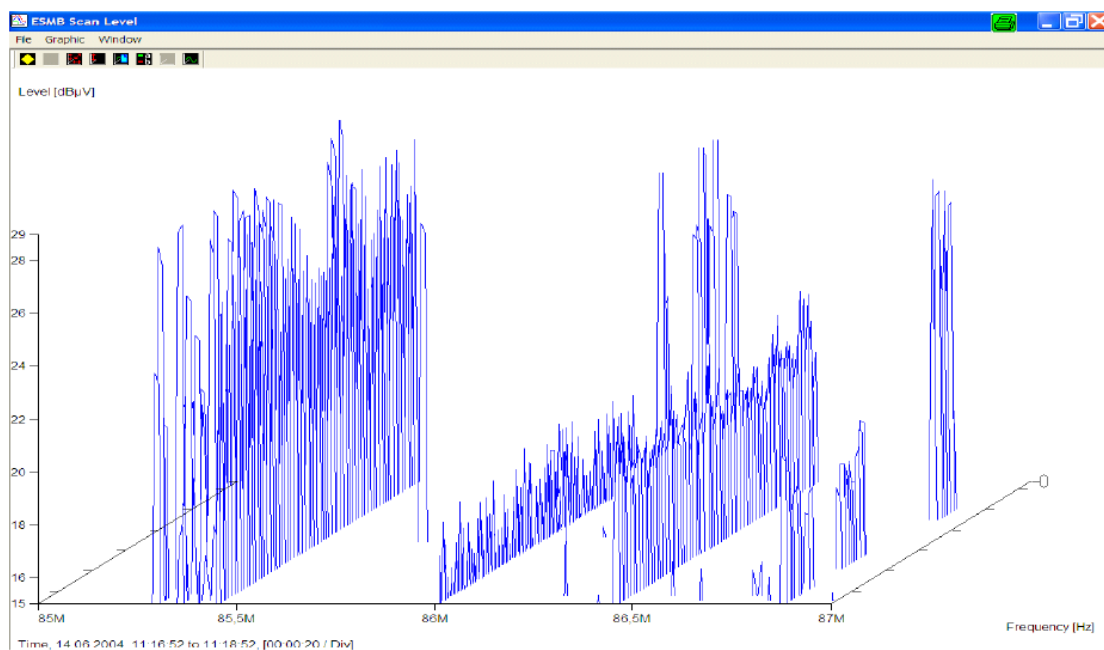


Figura B.14 Ejemplo de Representación Gráfica de Resultados de Medición.



Anexo C

Lista de operadores de radiodifusion sonora y television abierta con transmisores principales instalados en El Crucero

Tabla C.1 Frecuencias correspondientes a Canales de Televisión Abierta.

Canal	Banda de Frecuencia (MHz)	Portadora de Video (MHz)	Portadora de Color (MHz)	Portadora de Sonido (MHz)
2	54-60	55.25	58.83	59.75
3	60-66	61.25	64.83	65.75
4	66-72	67.25	70.83	71.75
5	76-82	77.25	80.83	81.75
6	82-88	83.25	86.63	87.75
7	174-180	175.15	178.83	179.75
8	180-186	181.25	184.83	185.75
9	186-192	187.25	190.83	191.75
10	192-198	193.25	196.83	197.75
11	198-204	199.25	202.83	203.75
12	204-210	205.25	208.83	209.75
13	210-216	211.25	214.83	215.75
14	470-476	471.25	474.83	475.75
15	476-482	477.25	480.83	481.75
16	482-488	483.25	486.83	487.75
17	488-494	489.25	492.83	493.75
18	494-500	495.25	498.83	499.75
19	500-506	501.25	504.83	505.75
20	506-512	507.25	510.83	511.75
21	512-518	513.25	516.83	517.75
22	518-524	519.25	522.83	523.75
23	524-530	525.25	528.83	529.75
24	530-536	531.25	534.83	535.75
25	536-542	537.25	540.83	541.75
26	542-548	543.25	546.83	547.75
27	548-554	549.25	552.83	553.75
28	554-560	555.25	558.83	559.75
29	560-566	561.25	564.83	565.75
30	566-572	567.25	570.83	571.75
31	572-578	573.25	576.83	577.75
32	578-584	579.25	582.83	583.75
33	584-590	585.25	588.83	589.75
34	590-596	591.25	594.83	595.75
35	596-602	597.25	600.83	601.75
36	602-608	603.25	606.83	607.75
37	608-614	609.25	612.83	613.75
38	614-620	615.25	618.83	619.75
39	620-626	621.25	624.83	625.75



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

40	626-632	627.25	630.83	631.75
41	632-638	633.25	636.83	637.75
42	638-644	639.25	642.83	643.75
43	644-650	645.25	648.83	649.75
44	650-656	651.25	654.83	655.75
45	656-662	657.25	660.83	661.75
46	662-668	663.25	666.83	667.75
47	668-674	669.25	672.83	673.75
48	674-680	675.25	678.83	679.75
49	680-686	681.25	684.83	685.75
50	686-692	687.25	690.83	691.75
51	692-698	693.25	696.83	698.75

Tabla C.2 Identificación de los Canales de Radiodifusión FM.

Frecuencia (MHz)	Número de Canal	Frecuencia (MHz)	Número de Canal
88.1	201	98.1	251
88.3	202	98.3	252
88.5	203	98.5	253
88.7	204	98.7	254
88.9	205	98.9	255
89.1	206	99.1	256
89.3	207	99.3	257
89.5	208	99.5	258
89.7	209	99.7	259
89.9	210	99.9	260
90.1	211	100.1	261
90.3	212	100.3	262
90.5	213	100.5	263
90.7	214	100.7	264
90.9	215	100.9	265
91.1	216	101.1	266
91.3	217	101.3	267
91.5	218	101.5	268
91.7	219	101.7	269
91.9	220	101.9	270
92.1	221	102.1	271
92.3	222	102.3	272
92.5	223	102.5	273
92.7	224	102.7	274
92.9	225	102.9	275
93.1	226	103.1	276
93.3	227	103.3	277
93.5	228	103.5	278
93.7	229	103.7	279
93.9	230	103.9	280
94.1	231	104.1	281
94.3	232	104.3	282



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

94.5	233	104.5	283
94.7	234	104.7	284
94.9	235	104.9	285
95.1	236	105.1	286
95.3	237	105.3	287
95.5	238	105.5	288
95.7	239	105.7	289
95.9	240	105.9	290
96.1	241	106.1	291
96.3	242	106.3	292
96.5	243	106.5	293
96.7	244	106.7	294
96.9	245	106.9	295
97.1	246	107.1	296
97.3	247	107.3	297
97.5	248	107.5	298
97.7	249	107.7	299
97.9	250	107.9	300

Tabla C.3 Operadores de Radios FM en El Crucero.

Ítem	MHz	Coordenadas según Licencia de Operación		Coordenadas Medidas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)	O (Longitud)	N (Latitud)			
1	88.5	86°18'17.3"	11°58'53.7"			LIC-2004-RDS-050	068-2004	14-04-04
2	89.5	86°18'09.6"	11°59'54"	86°18'10.10"	11°59'53.98"	LIC-2004-RDS-004	023-2004	19-02-04
3	89.9	86°18'00"	11°59'54"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-002	166-2010	06-04-10
4	90.5	86°15'53"	12°06'37"	86°18'37.05"	11°59'31.24"	LIC-2004-RDS-029	042-2004	12-03-04
5	90.9	86°17'03"	12°00'28"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2011-RDSFM-014	043-2011	03-02-11
6	91.3	86°17'03"	12°00'28"	86°17'6.19"	12° 0'27.45"	LIC-2010-RDSFM-017	133-2010	12-03-10
7	91.7	86°18'20.8"	11°59'43.2"	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2010-RDSFM-011	047-2010	02-02-10
8	92.1	86°18'28.7"	11°59'42.8"	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2003-RDS-050	086-2003	14-08-03
9	92.7	86°17'54"	11°59'39"	86°18'23.74"	11°59'40.05"	LIC-2002-RDS-019	020-2002	12-04-02
10	93.1	86°17'03"	12°00'28"	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-073	003-2007	03-01-07
11	93.5	86°18'00"	11°59'54"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-020	164-2010	06-04-10
12	93.9	86°17'04"	12°00'29"	86°17'8.61"	12° 0'30.46"	LIC-2008-RDSFM-001	044-2008	27-02-08
13	94.3	86°18'09.6"	11°59'52.7"	86°17'38.94"	12° 0'10.66"	LIC-2004-RDS-044	090-2004	05-05-04
14	94.7	86°17'03"	12°00'28"	86°18'23.85"	11°59'38.46"	LIC-2004-RDSFM-119	366-2004/367-2004	02-12-04
15	95.1	86°17'03"	12°00'28"	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-072	541-2006	20-12-06



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

16	95.3	86°16'00"	12°09'00"			LIC-2008-RDSFM-007	034-2008	26-02-08
17	95.5			86°18'29.48"	11°59'43.32"			
18	95.9			86°18'29.48"	11°59'43.32"			
19	96.3	86°17'03"	12°00'28"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2001-RDS-005	005-2001	14-05-96
20	97.1	86°15'28"	12°05'24.4"			LIC-2008-RDSFM-006	039-2008	26-02-08
21	97.5	86°18'24.3"	11°59'45.5"	86°18'25.10"	11°59'39.41"	LIC-2004-RDS-020	184-2004	21-07-04
22	97.9	86°17'03"	12°00'28"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2011-RDSFM-034	156-2011	03-06-12
23	98.3			86°17'7.29"	12° 0'30.22"			
24	98.7	86°17'03"	12°00'28"	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-071	542-2006	20-12-06
25	99.1	86°18'0"	11°59'54"			LIC-2008-RDSFM-034	229-2008	11-06-08
26	99.5	86°16'26.6"	11°59'46.1"			LIC-2004-RDS-056	079-2004	26-04-04
27	99.9	86°16'20"	12°09'15"	86°17'41.06"	12° 0'8.06"	LIC-2010-RDSFM-050	443-2010	05-10-10
28	100.3							
29	100.7	86°16'10.2"	12°00'49.2"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-018	168-2010	06-04-10
30	101.1							
31	101.5	86°16'10.2"	12°00'49.3"	86°17'7.71"	12° 0'30.81"	LIC-2008-RDSFM-002	051-2008	04-03-08
32	101.9	86°18'32.7"	11°59'38.2"			LIC-2010-RDSFM-040	254-2010	21-05-10
33	102.3	86°17'03"	12°00'28"	86°18'23.85"	11°59'38.46"	LIC-2000-RDS-006	018-2000	11-02-00
34	102.7	86°17'03"	12°00'28"	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2001-RDS-016	012-2001	31-01-01
35	103.1	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2002-RDS-015	24-2002	
36	103.5			86°18'22.99"	11°59'38.34"			
37	103.9	86°18'00"	11°59'54"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-003	165-2010	06-04-10
38	104.3	86°17'58.7"	11°55'4"	86°17'58.56"	11°59'54.87"	LIC-2010-RDSFM-015	178-2010	13-04-10
39	104.7	86°18'04"	12°01'28"	86°16'10.16"	12° 0'48.95"	LIC-2010-RDSFM-024	261-2010	27-05-10
40	105.1	86°18'37.5"	11°59'29.9"	86°17'7.29"	12° 0'30.22"	LIC-2004-RDS-080	250-2004	09-09-04
41	105.5	86°16'10.2"	12°00'49.3"			LIC-2008-RDSFM-018	043-2008	27-02-08
42	105.9	86°18'21.2"	11°59'39.1"	86°18'21.15"	11°59'38.73"	LIC-2004-RDSFM-100	353-2004	25-11-04
43	106.3	86°18'00"	11°59'54"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-004	167-2010	06-04-10
44	106.7			86°18'29.48"	11°59'43.32"			
45	107.1	86°18'00"	11°59'54"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-019	163-2010	06-04-10
46	107.5	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2000-RDS-067	089-2000	24-05-00
47	107.9	86°17'17.1"	12°09'05.2"	86°18'10.51"	11°59'52.90"	LIC-2004-RDS-091	218-2004	18-08-04



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

Nota:

El color rojo indica que las instalaciones del operador se encuentran en el municipio de Managua.

Tabla C.4 Operadores de TV VHF en El Crucero.

Ítem	Banda de Frecuencia MHz	Emisora	Coordenadas Licencia		Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
			O (Longitud)	N (Latitud)	O (Longitud)	N (Latitud)			
1	54-60	Canal 2	86°17'09"	12°00'50"	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-96-TVA-004	23-96	14-04-04
2	66-72	Canal 4	86°17'03"	12°00'28"	86°18'3.62"	11°59'53.91"	LIC-2007-TVAVHF-003	602-2007	17-07-07
3	82-88	Canal 6	86°17'03"	12°00'28"	86°18'37.05"	11°59'31.24"	LIC-2006-TVAVHF-007	316-2006	19-09-06
4	180-186	Canal 8	86°18'32.6"	11°59'38.6"	86°18'32.13"	11°59'39.32"	LIC-2004-TVA-002	190-2004	03-08-04
5	186-192	Canal 9	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2010-TVAVHF-006	457-2010	13-10-10
6	192-198	Canal 10	86°17'03"	12°00'28"	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2007-TVAVHF-002	601-2007	17-07-07
7	198-204	Canal 11	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2010-TVAVHF-004	132-2010	12-03-10
8	204-210	Canal 12	86°17'03"	12°00'28"	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2006-TVAVHF-005	019-2007	05-01-07
9	210-216	Canal 13	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2011-TVAVHF-003	157-2011	03-06-11
10	470-476	Canal 14			86°17'50.46"	11°59'58.23"			
11	476-482	Canal 15							
12	512-518	Canal 21			86°18'10.10"	11°59'53.98"			

Tabla C.5 Operadores de TV UHF en El Crucero.

Ítem	Banda de Frecuencia MHz	Emisora	Coordenadas Licencia		Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
			O (Longitud)	N (Latitud)	O (Longitud)	N (Latitud)			
1	488-494	Canal 17	86°17'01"	12°00'24"			LIC-2006-TVAUHF-004	182-2006	12-06-06
2	494-500	Canal 18	86°16'37.6"	12°00'29"			LIC-2011-TVAUHF-001	013-2011	13-01-11
3	500-506	Canal 19	86°18'22.6"	11°59'45.9"			LIC-2006-TVAUHF-001	050-2006	07-02-06
4	512-518	Canal 21	86°18'09.6"	11°59'54"	86°18'10.10"	11°59'53.98"	LIC-2004-TVAUHF-001	263-2005	26-07-04
5	524-530	Canal 23	86°16'05"	11°58'00"			LIC-2001-TVA-001	004-2001	01-03-96
6	536-542	Canal 25	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2010-TVAUHF-009	510-2010	01-12-10
7	608-614	Canal 37	86°19'58"	12°08'52"			LIC-2010-TVAUHF-003	127-2010	10-03-10
8	620-626	Canal 39	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2005-TVAUHF-002	294-2005	30-08-05
9	668-674	Canal 47	86°17'03"	12°00'28"			LIC-2011-TVAUHF-004	162-2011	09-06-11

Nota:

El color rojo indica que las instalaciones del operador se encuentran en el municipio de Managua.



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

Tabla C.6 Operadores que comparten torres en El Crucero.

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	54-60	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-96-TVA-004	23-96	14-04-04
2	93.1	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-073	003-2007	03-01-07
3	95.1	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-072	541-2006	20-12-06
4	98.7	86°18'20.15"	11°59'44.94"	LIC-2006-RDSFM-071	542-2006	20-12-06

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	192-198	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2007-TVAVHF-002	601-2007	17-07-07
2	89.9	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-002	166-2010	06-04-10
3	90.9	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2011-RDSFM-014	043-2011	03-02-11
4	93.5	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-020	164-2010	06-04-10
5	96.3	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2001-RDS-005	005-2001	14-05-96
6	97.9	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2011-RDSFM-034	156-2011	03-06-12
7	100.7	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-018	168-2010	06-04-10
8	103.9	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-003	165-2010	06-04-10
9	106.3	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-004	167-2010	06-04-10
10	107.1	86°18'2.15"	11°59'53.96"	LIC-2010-RDSFM-019	163-2010	06-04-10

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	204-210	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2006-TVAVHF-005	019-2007	05-01-07
2	92.1	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2003-RDS-050	086-2003	14-08-03
3	95.5	86°18'29.48"	11°59'43.32"			
4	95.9	86°18'29.48"	11°59'43.32"			
5	102.7	86°18'29.48"	11°59'43.32"	LIC-2001-RDS-016	012-2001	31-01-01
6	106.7	86°18'29.48"	11°59'43.32"			

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	512-518	86°18'10.10"	11°59'53.98"	LIC-2004-TVAUHF-001	263-2005	26-07-04
2	89.5	86°18'10.10"	11°59'53.98"	LIC-2004-RDS-004	023-2004	19-02-04

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	82-88	86°18'37.05"	11°59'31.24"	LIC-2006-TVAVHF-007	316-2006	19-09-06
2	90.5	86°18'37.05"	11°59'31.24"	LIC-2004-RDS-029	042-2004	12-03-04

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	98.3	86°17'7.29"	12° 0'30.22"			



Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por Sistemas de Radiodifusión FM y Televisión Abierta en el Municipio El Crucero

2	105.1	86°17'7.29"	12° 0'30.22"	LIC-2004-RDS-080	250-2004	09-09-04
---	-------	-------------	--------------	------------------	----------	----------

Ítem	MHz	Coordenadas Tomadas		Licencia	Resolución Administrativa No.	Fecha
		O (Longitud)	N (Latitud)			
1	102.3	86°18'23.85"	11°59'38.46"	LIC-2000-RDS-006	018-2000	11-02-00
2	94.7	86°18'23.85"	11°59'38.46"	LIC-2004-RDSFM-119	366-2004/367-2004	02-12-04